

(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表2001-526520

(P2001-526520A)

(43)公表日 平成13年12月18日(2001.12.18)

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	テマコード(参考)
H 0 2 N	1/00	H 0 2 N	1/00
B 8 1 B	3/00	B 8 1 B	3/00
	7/00		7/00

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 69 頁)

(21)出願番号 特願2000-524856(P2000-524856)  
 (86)(22)出願日 平成10年12月3日(1998.12.3)  
 (85)翻訳文提出日 平成12年6月5日(2000.6.5)  
 (86)国際出願番号 PCT/FR98/02613  
 (87)国際公開番号 WO99/30410  
 (87)国際公開日 平成11年6月17日(1999.6.17)  
 (31)優先権主張番号 97/15393  
 (32)優先日 平成9年12月5日(1997.12.5)  
 (33)優先権主張国 フランス (FR)  
 (81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, I T, LU, MC, NL, PT, SE), JP, US

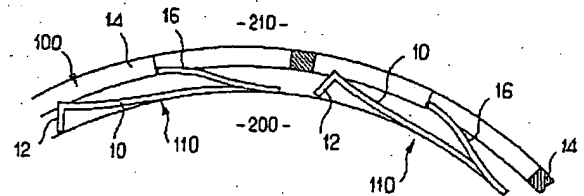
(71)出願人 サントル、ナショナル、ド、ラ、ルシエルシュ、シアンティフィク、(セーエヌエルエス)  
 フランス国パリ、リュ、ミケ、ランジュ、3  
 (72)発明者 バトリス、ミノッティ  
 フランス国ジェンヌ、リュ、デ、ビーニユ、19  
 (72)発明者 ジル、ブルボン  
 フランス国ブサンソン、リュ、フォンテーヌ、エキュ、77  
 (74)代理人 弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 静電気マイクロアクチュエータ、このアクチュエータを使用する3次元作動マイクロカテーテルおよび製造方法

## (57)【要約】

本発明は、SDA (Scratch Drive Actuators) をベースとする静電マイクロアクチュエータに関し、組み合わせた多数のSDA (110) と、様々なSDAが発生する力を重ねることが可能な外部機械プレストレスをSDAに加えるように、またこれらのSDAの全体反応による駆動力全体を外部負荷に伝えるように構成された手段とを含むことを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

組み合わせた多数のSDA(110)と、様々なSDAが発生する力を重ねることが可能な外部機械プレストレスをSDAに加えるように、またこれらのSDAの全体反応による駆動力全体を外部負荷に伝えるように構成された手段(130)とを含むことを特徴とする、SDA(Scratch Drive Actuators)をベースとする静電マイクロアクチュエータ。

## 【請求項2】

SDA(110)に機械プレストレスを加えるように構成された手段は、休止時にSDAのセットにバイアス電圧を印加可能な手段(130)からなることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項3】

SDAは、支持薄膜(100)に形成され、支持薄膜は、互いに連結された2個の剛性本体(200、210)の界面にある機械的な遊びに配置されるので、薄膜(100)のフレームが、2個の剛性本体の一方(210)、たとえば枠と接触し、SDA(110)が、連結部に含まれる他方の本体(200)、たとえば駆動シャフトに接触することを特徴とする請求の範囲第1項または第2項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項4】

SDAの支持薄膜(100)は、2個の剛性本体(200、210)の間の機械的な遊びに挿入する前にその基板から分離されることを特徴とする請求の範囲第3項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項5】

SDAを形成する各プレート(10)は、支持薄膜(100)に設けられたフレーム(14)で弾性的に支持されることを特徴とする請求の範囲第1項から第4項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項6】

SDAを形成する各プレート(10)は、2個の平行なサスペンションバー(16)を介して、薄膜(100)に設けられたフレーム(14)により支持され

ることを特徴とする請求の範囲第5項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項7】

各SDA(110)は、絶縁層(22)で被覆した基板(20)側に向けられる突出小壁または肥厚部(12)を一端に備える、たとえばポリシリコンプレートまたはビームと、プレート(10)および基板(20)の間に電圧パルスを加えるように構成されたジェネレータ(30)とを含むことを特徴とする請求の範囲第1項から第6項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項8】

数十から数千のSDA(110)を含むことを特徴とする請求の範囲第1項から第7項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項9】

SDA(110)は、薄膜を成形するように構成された撓みバー(120)を有する薄膜(100)に、これらの撓みバー(120)を基板(150)でブロックする一方で少なくとも幾つかのSDA(110)を作動するときに形成されることを特徴とする請求の範囲第1項から第8項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項10】

カセンサをなす手段(180)、たとえばトルクセンサをさらに含み、この手段は、SDAをなす薄膜に組み込まれてシステムの作動時に変形するように構成された少なくとも一つのビーム(182)を含み、前記ビームは、その変形の分析手段に結合されることを特徴とする請求の範囲第1項から第9項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項11】

SDA(110)は、ドーピングしたポリシリコン薄膜の化学加工により製造されることを特徴とする請求の範囲第1項から第10項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項12】

基板(150)は、撓みバー(120)に向かい合った電極(160)と、電極(160)に撓みバー(120)を押しつけるために電極(160)および撓

みバー(120)の間に励起電圧を印加可能な手段とを含むことを特徴とする請求の範囲第9項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項13】

基板(150)で保持される撓みバー(120)の領域を制御するために選択的に供給可能な、撓みバー(120)に向かい合って配分される複数の離散電極(160)を含むことを特徴とする請求の範囲第12項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項14】

SDA薄膜(100)は、筒状のシャフト(200)に配置されることを特徴とする請求の範囲第1項から第13項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項15】

X-Yタイプの平面トランスレータを形成するために、直交配向を有する二つのSDA群(110)を含むことを特徴とする請求の範囲第1項から第14項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項16】

回転自由度を並進自由度に結合するラッチタイプのモータを構成することを特徴とする請求の範囲第1項から第15項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項17】

環状タイプのモータを構成することを特徴とする請求の範囲第1項から第16項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項18】

多数のSDA(110)を備え、回転軸Oを備える横方向ディスク形の平面薄膜(100)を含むことを特徴とする請求の範囲第17項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項19】

ロータを構成する薄膜(100)が、中央ハブ(102)から径方向に配置された多数のSDA(110)を含み、SDAの円環扇形の各プレート(10)の

小壁(12)が、回転軸Oから立ち上がる半径に応じてプレートの長手方向の縁に沿って、また好適には、これらの円環扇形の径方向延長部の一部分だけに延びることを特徴とする請求の範囲第18項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項20】

各ビーム(182)が、薄膜(100)に結合される一端(181)を有し、ビーム(182)の他端(183)は、前記薄膜(100)に対して自由であることを特徴とする請求の範囲第10項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項21】

センサ(180)は、ロータの回転軸Oを中心として等間隔に配分された3個のビーム(182)を含むことを特徴とする請求の範囲第10項または第20項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項22】

ビーム(182)は、薄膜(100)に結合される端(181)から回転方向に延びることを特徴とする請求の範囲第10項、第20項または第21項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項23】

各ビーム(182)と、ビーム(182)の移動行程に向かい合って支持体(150)に形成される電極(152)との間でジェネレータ(136)が印加する適切な電圧の印加によって静電力を生じ、この静電力により、ビーム(182)が支持体(150)に押しつけられることを特徴とする請求の範囲第10項、第20項または第22項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項24】

形状記憶アクチュエータ(360)に結合されることを特徴とする請求の範囲第1項から第23項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項25】

SDAをベースとする回転モータ(340)と、回転モータ(340)のロータ(350)に結合される形状記憶撓みステータ(362)とを含む、少なくとも一つのモジュール(320)を有することを特徴とする請求の範囲第24項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項26】

複数のモジュール(320)を相次いで含むことを特徴とする請求の範囲第25項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項27】

柔軟な管(310)内に配置されることを特徴とする請求の範囲第24項から第26項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項28】

回転モータ(340)の筒状枠(210)は、下流に配置されるモジュール(320)の供給に必要な絶縁電源線(214)を通過可能にするために、長手方向の溝(212)をその外周に備えることを特徴とする請求の範囲第25項から第27項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項29】

ロータ(350)は、長手方向の結合アーム(354)により相互に結合される2個の筒状端区間(352、356)を含むことを特徴とする請求の範囲第25項から第28項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項30】

形状記憶材料からなるステー(362)の一端は、ロータの筒状端区間の一方に固定され、このステー(362)の他端は、ステー(362)およびロータ(350)を撓めるようにロータに対して長手方向に移動自在に、ロータの筒状端区間の他方に取り付けられることを特徴とする請求の範囲第29項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項31】

ステー(362)の一端(364)は、横方向のピン(363)によりロータの筒状端区間(356)に固定され、ステー(362)の他端(366)は、ロータの第二の筒状端区間(352)に配置される球状トグル継手(367)の中央管路に係合されることを特徴とする請求の範囲第30項に記載のマイクロアクチュエータ。

## 【請求項32】

所定のモジュール(320)のロータの一端は、並進時も回転時も下流のモジ

ュールの枠(210)に結合されることを特徴とする請求の範囲第26項から第31項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項33】

マイクロカテーテル(300)を構成することを特徴とする請求の範囲第1項から第33項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項34】

請求の範囲第1項から第33項のいずれか一項に記載の少なくとも一つのマイクロアクチュエータを含む三次元作動マイクロカテーテル。

【請求項35】

多数のSDA(110)を含むとともに撓みバー(120)を有する薄膜(100)を製造し、基板(150)に撓みバー(120)をブロックする一方で少なくとも幾つかのSDA(110)を作動して基板から前記薄膜(100)を剥離する薄膜成形ステップを含むことを特徴とする請求の範囲第1項から第34項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータの製造方法。

【請求項36】

ロータ(200)等のモータ駆動エレメントを、薄膜(100)の下で薄膜の剥離につれて移動することを特徴とする請求の範囲第35項に記載の製造方法。

【請求項37】

前記モータ駆動エレメント(200)は、剥離した薄膜(100)の下で移動中に回転運動するように駆動され、前記モータ駆動エレメント(200)は、モータ駆動エレメント(200)の面と薄膜(100)との間で相対移動せずに、剥離につれて薄膜(100)を支持するようにされることを特徴とする請求の範囲第36項に記載の製造方法。

【請求項38】

静電引力は、薄膜(100)と前記モータ駆動エレメント(200)との間で、このエレメントでの薄膜搬送時に発生することを特徴とする請求の範囲第36項または第37項に記載の製造方法。

【請求項39】

静電引力は、薄膜(100)と前記モータ駆動エレメント(200)との間で

電圧を印加することにより発生することを特徴とする請求の範囲第38項に記載の製造方法

【請求項40】

静電引力は、薄膜の支持体をなすロータ等の駆動エレメント(200)を枠(210)へ挿入する時に、SDA薄膜(100)とこのエレメントとの間で保持され、エレメント(200)を枠に設置した後は、枠(210)と各SDA(110)を囲む薄膜(100)のフレームとの間に静電引力を与えて、枠(210)に対して薄膜本体を固定するとともに、SDAの作動小壁(12)を前記駆動エレメントで保持してSDA(110)の励起時に駆動エレメントを駆動することを特徴とする請求の範囲第35項から第39項のいずれか一項に記載の方法。



## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

本発明は、電気機械式マイクロアクチュエータの分野、すなわち励起に対応して制御された機械応力を提供するように構成されるマイクロシステムの分野に関する。

## 【0002】

より詳しくは、本発明は、「Scratch Drive Actuators」または「SDA」と名付けられた静電気マイクロアクチュエータの分野に関する。

## 【0003】

これらのアクチュエータは、資料[1]、[2]、[3]に記載されている。

## 【0004】

前記アクチュエータは特に、数年前から、マイクロメートル単位の寸法のマイクロ装置の直接駆動用に構成されており、摩擦による機械エネルギー伝達機構を従来の静電力の場の利用に組み合わせるという特性を有する。

## 【0005】

これらのアクチュエータの一般構造および動作を適切に理解するために前記資料を参照されたい。

## 【0006】

こうしたアクチュエータは、添付図の第1A図から第1D図に示されている。

## 【0007】

SDAは概して、たとえばポリシリコンプレートまたはビーム10を含み、たとえばSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の絶縁層22で被覆したシリコン基板20の側に向けられる、突出小壁または肥厚部12を一端に備える。ジェネレータ30は、プレート10および基板20の間に電圧パルスを印加するように構成される。第1B図から分かるように、パルスの立ち上がりで、プレート10は、双方の間に発生する静電力により基板20の方に引き付けられる。小壁12は絶縁層22で支持されるので、プレート10が静的に撓められ、それによって小壁12が反るように導かれる。第1C図に示すようにパルスの立ち下がりでは、プレート10に蓄積された

弾性エネルギーによってプレート10が再び休止構成を取ろうとし、小壁12および絶縁層22の間に画定される支持に比例して、元の位置に対して振幅 $dx$ だけずれる。

【0008】

かくして、これらのシステムは、薄いプレート10で、もともと静的な撓みを有するきわめて弱い振幅の機械振動を、この同じプレートの剛性本体の運動に変換することができる。

【0009】

プレート10／基板20の界面で発生する静電力は、ジェネレータ30から送られる所定の励起電圧に対して、撓みプレート10の下に配置される障壁の高さが低ければ低いほど強くなる。一般に約1マイクロメートルである小壁12の高さは、さらに、プレート10／基板20の界面におけるエネルギー変換機構に著しい減速をもたらす。摩擦によるエネルギー変換で問題になるごくわずかな機械変形に固有の減速は、プレートの移動中に発生する駆動力を二重に増速しようとする。かくしてSDAは、任意の補助減速がないときに低速で大きな力を展開するという特性を有する。

【0010】

移動ピッチの長さは、小壁12の高さ、プレート10の剛性、および印加される制御電圧に依存する。移動ピッチは一般に、幅約50マイクロメートル、厚み約1マイクロメートル、長さ約60マイクロメートルのプレート10に対して約25ナノメートルである。

【0011】

このようなサイクルの反復により移動ピッチを蓄積し、その結果としてプレート10と基板20との間で相対移動を大きくすることができる。

【0012】

しかしながら、SDAは、発明者の知る限りにおいて非常に有望であることが明らかになっているにもかかわらず、これまで実験室のレベルに留まっており、工業開発が行われなかった。

【0013】

これは、特に既知のSDAが発生する応力が、たとえマイクロメータの尺度では大きくても、依然として有限であることによると思われる。約100Vのピーク励起電圧を供給されるSDAの場合、一般に約50～100マイクロニュートンの応力は、マイクロ装置のレベル専用の限られた数の用途しか満たすことができない。

【0014】

また、SDAの寸法を大型化することにより、この応力を著しく増すという試みは、これまで成功しなかった。

【0015】

実際、作動において関与する静電力は、SDAの寸法を大きくするにつれて急激に減少する。一方で、SDAの製造において問題となる加工方法では、数ミクロンを越える厚みを有する装置は加工不能であるので、これは、SDAの寸法をほかにも増加する際に固有の制限となる。

【0016】

本発明の目的は、SDAを工業生産可能な新しい手段を提案することにある。

【0017】

容認できる出力を得るために、SDAの寸法を増加しようとする現在の試みとは逆に、本発明の範囲では小型SDAを保持するが、このSDAを増加して、これらの各SDAが発生する力を加算できるように適切な条件で組み合わせることを提案する。すなわち、様々なSDAが発生する力を重ねることが可能な外部機械プレストレスを前記SDAに加えるように、また、これらの同じSDAの全体反応による駆動力全体を外部負荷に伝えるように構成した手段を用いる。

【0018】

SDAのこうした機械プレストレスは、有利には、休止時にSDAのセットに加えられるバイアス電圧を用いて得られる。

【0019】

SDAの全体反応による駆動力全体を外部負荷に伝えられるようにするために、本発明の有効な特徴によれば、SDAを支持する薄膜を、相互に連結された2個の剛性本体の界面にある機械的な遊びに配置する。

## 【 0 0 2 0 】

実際、このようなプレストレスは、外部負荷への駆動力伝達手段に結合され、様々なSDAが発生する応力を累積可能にするために必要不可欠である。

## 【 0 0 2 1 】

マイクロアクチュエータの協働は、マイクロ装置の駆動化の分野で既に利用されているが、発明者の知る限りでは、移動した物体の重力を利用するために、水平面における摩擦による物体コンベヤの開発を介して行われたにすぎない。このような装置の場合、可動エレメントに伝えられる駆動力は、移動した物体の質量、ならびに物体／アクチュエータの界面における摩擦係数（固体摩擦に関するクーロンの法則による）だけに依存する。この場合、移動した物体に伝えられる駆動力は、駆動に関与するアクチュエータの数および駆動特性に無関係である。さらに、この同じ駆動力が、空間における装置（またはコンベヤ）の構成と、また特に物体の搬送面の水平状態とに依存する。従って、同一の負荷の駆動に関与するアクチュエータの数を増やすことが、必ずしも、駆動において問題化される有効な力を同程度に増やすことにはならないことは明らかである。

## 【 0 0 2 2 】

本発明は、機械的な動力伝達プロセスにおいてプレストレスを補正するために重量（もしくは支持スプリングの弾性変形等の他のあらゆる解決方法）を使用しないことから、先行する発明とは区別される。本発明は、集合体に含まれる各アクチュエータで個別化されるプレストレスを補正するために、SDAの尺度を考慮して、特に強い静電引力を使用する。このプレストレスは、一貫して重力に関与する従来技術の装置とは反対に、移動した負荷の様々なパラメータとは無関係である限りにおいて、各アクチュエータに固有のものである。本発明の範囲におけるプレストレスの付加はさらに、静電引力が補助的な支持スプリングの弾性変形を不要とするので、自然である。実際に、こうした付加は、前述のように休止時にSDAのセットに印加されるバイアス電圧を用いて得られる。しかも、静電力は、基板上のSDAの相対的な位置だけに依存し、三次元空間における基板の状態には無関係である。

## 【 0 0 2 3 】

その結果、提案される発明は、従来技術の集合装置とは異なり、考慮された空間構成がどのようなものであっても、各S D Aの個々の力を有効に重ねることができる。

【 0 0 2 4 】

また、これまで提案されてきた複数のS D Aを組み合わせ可能な支持格子は、大きな外力の伝達時に機械的な完全性を保持できないことが分かっている。これらの既知の支持格子は、一般に、S D Aとして厚みが約1マイクロメートルのきわめて脆弱なビームの組合わせから形成される（ビームは、同一プロセス中に同様の材料を用いてS D Aと同時に製造される）。従って周知の支持格子の脆弱性は、大きな応力の伝達に固有の制限となる。

【 0 0 2 5 】

かくして、本発明のもう一つの有効な特徴によれば、現在の試みとは異なって、相互に連結される2個の剛性本体を分離する機械的な遊びに、多数のS D Aを含むポリシリコンの可撓性薄膜を挿入することを提案する。この技術的な解決方法は、実際、非常に多数のS D Aを、駆動力の有効な積み重ねに好都合な条件で、また集合体が発生する有効な力の累積の結果として生じる機械的な動力の伝達がS D Aのセットを結合する設備構造に影響を及ぼすことがないように、協働させることができる。このため、本発明の範囲では、有利にはS D A薄膜が、連結部に含まれる剛性本体の一方、たとえば枠とだけ接触するフレームから構成される。S D Aに関しては、連結部に含まれる他方の剛性本体、たとえば駆動シャフトともっばら接触するだけである。このような構成により、インターフェースに含まれるS D Aの数に比例する力を累積することができる。また特に、可動エレメント（たとえば駆動シャフト）に伝えられる外部の機械的な動力伝達がどのようなものであろうとも、（枠との接触によって補強されているので）フレームの完全性が保証される。

【 0 0 2 6 】

かくして、本発明は、従来技術の周知の解決方法とは反対に、同一の負荷の駆動において非常に多数のS D Aを含む物理的、物質的（あるいは機械的）な可能性を全般に追求している。

## 【 0 0 2 7 】

かくして、本発明によるシステムは一般に、数十～数千のSDAを組み込んでいる。

## 【 0 0 2 8 】

さらに、本発明は、多数のSDAを含み、薄膜と一体成形したバーの撓みにより、たとえばポリシリコンの薄膜を成形する特定手段を提案する。

## 【 0 0 2 9 】

本発明はまた、このような成形手段を利用した、多数のSDAを含む薄膜の成形方法に関する。

## 【 0 0 3 0 】

本発明のもう一つの有利な特徴によれば、システムはまた、カセンサをなす手段、たとえばトルクセンサを含むことができ、この手段は、SDAをなす薄膜に組み込まれてシステムの作動時に変形するように構成された少なくとも一つのビームを含み、前記ビームは、その変形の分析手段に結合される。

## 【 0 0 3 1 】

本発明の他の特徴、目的および長所は、限定的ではなく例として挙げられた添付図面に関する以下の詳細な説明を読めば、明らかになるであろう。

## 【 0 0 3 2 】

以下、SDAの既知の一般構造については、詳しい説明を省く。

## 【 0 0 3 3 】

その製造技術についても同様である。この技術は、ICの製造技術から派生したものであり、実際、当業者は既知である。

## 【 0 0 3 4 】

しかしながら、本発明によるSDA薄膜の製造方法の一例について、以下に説明する。

## 【 0 0 3 5 】

SDAの公称寸法は一般に、一辺が約数十マイクロメートルである。かくして本発明の範囲では、mm<sup>2</sup>単位の面積に並置した数百、さらには数千のSDAを設けることができる。

## 【 0 0 3 6 】

好適には、本発明の範囲では、S D Aは、ドーピングしたポリシリコン薄膜の化学加工により製造される。その構成は、多数の変形実施形態の対象となっている。薄膜の網状組織へのS D Aの結合条件、薄膜における基本セルの離散条件（単位面積当たりのS D Aの数）、薄膜の面の条件についても同様である。

## 【 0 0 3 7 】

本発明の範囲において先に述べたように、各S D Aが発生する基本応力の加算を可能にするには、これらの応力は、好適には休止時のバイアス電圧の形態をとる外部機械プレストレスに従い、それによって、各S D Aのプレート10に制御された連続的な撓みが課される。

## 【 0 0 3 8 】

また、本発明の範囲において先に述べたように、S D Aの協働反応による駆動力全体を外部の負荷に伝えるように構成された手段をさらに設けている。

## 【 0 0 3 9 】

このため、S D A薄膜は、好適には、相互に連結される2個の剛性本体の間の機械的な遊びに配置される。

## 【 0 0 4 0 】

かくしてS D A薄膜は、前記S D A薄膜を構成した基板と、はめ込まれる剛性本体との間に配置可能である。

## 【 0 0 4 1 】

しかしながら、本発明の範囲では、S D A薄膜は、好適には、まずその支持基板から分離され、次いで、相互に連結される2個の剛性本体の間に存在する前記機械的な遊びに挿入される。

## 【 0 0 4 2 】

本発明によるS D A集団を含むポリシリコン薄膜は、化学加工されたシリコン基板から剥離されると、可撓性が大きくなる。

## 【 0 0 4 3 】

従って、これらの薄膜をその使用場所に搬送するために様々な解決方法を設けることができる。

## 【 0 0 4 4 】

第2図に示した、本発明の特に有利な実施形態によれば、SDAを含む薄膜の支持基板からの剥離は、薄膜の周辺に配分された撓みバーによって行われる。

## 【 0 0 4 5 】

もちろん、薄膜の他の場所、たとえば薄膜の周辺だけではなくブロック内に、このような撓みバーを設けてもよい。

## 【 0 0 4 6 】

かくして第2図では、多数の基本SDA110を含むポリシリコン薄膜100が示されている。薄膜100は、前記薄膜100を加工したシリコン基板150で保持されている。

## 【 0 0 4 7 】

薄膜100は、薄膜100の対向する二つの縁に沿ってそれぞれ配置された平行な2個の撓みバー120を含む。撓みバー120は、前記撓みバー120と薄膜100の中央本体との間に形成される長手方向の切り込み122により、薄膜100のブロックから縦に分離される。撓みバー120は、このように薄膜100のブロックから加工される。しかしながら、撓みバー120は、その一端により、薄膜100のこの中央本体に結合されたままである。

## 【 0 0 4 8 】

前記側面縁および撓みバー120に対して横方向で、かつ、薄膜100に前記撓みバー120を結合するゾーンに対向する第一列のSDAが作動されると、第2図の矢印Dにより示された方向に薄膜100が進む。そのために、関与するSDA110のプレート10と、基板150に埋め込まれた電極との間に電圧を印加することができる。

## 【 0 0 4 9 】

従って、撓みバー120が反対に、少なくともその長さの一部で基板150に対して所定の位置に保持されると、薄膜100の移動により、基板150の面に直交する方向にバー120が撓む。

## 【 0 0 5 0 】

第2図から分かるように、こうしたバー120の撓みにより薄膜100が基板



150から剥離する。

【0051】

基板150に対してバー120を保持するには、様々な方法がある。本発明の範囲では、好適には、保持そのものが静電力によって得られる。そのため、好適には、第2図に示したように、基板150でバー120の向かい合いに特定の電極160を設ける。これらの電極160とバー120との間にジェネレータ132を用いて励起電圧を印加することにより、バー120を電極160に押しつけることができる。

【0052】

さらに詳しくは、添付した第2図に示した好適な実施形態によれば、バー120の向かい合いに複数の離散電極160を設ける。これらの電極160のそれぞれは、各遮断器134のセットを介してジェネレータ132により選択的に供給可能である。従って、選択されたひとつまたは複数の遮断器134を選択的に閉鎖することにより、一つまたは複数の供給電極160を選択し、その結果、基板150に保持されるバー120の領域を制御することができる。

【0053】

曲率半径が数十ミクロンのこうした技術は、ポリシリコン薄膜100で得られる。

【0054】

かくしてSDA110を含む薄膜100もまた、所望のあらゆる使用場所に振り向けることができる。

【0055】

第3図に、駆動シャフト200での薄膜100の使用を示した。

【0056】

駆動シャフト200は、それ自体が多数の実施形態の対象となりうる。第3図に示した限定的ではない特定の実施形態によれば、駆動シャフトは、外装が回転円筒形である筒状シャフトである。

【0057】

シャフト200で薄膜100を搬送するには、基板150上の薄膜100の剥

離端の位置にシャフト200を配置する。次いで、第3図に矢印Fで示したように、薄膜100の剥離につれて、この薄膜の下でシャフト200を移動する。それと同時に、好適には、(第3図に矢印Rで示したように)シャフトをその軸を中心として回転運動するように駆動し、その結果、シャフト200は、薄膜100が剥離するにつれて、シャフト200の面と薄膜100との間で相対移動せずに薄膜100を支持する。かくして薄膜は、シャフト200で損傷するおそれなく、徐々に搬送される。

【0058】

シャフト200への薄膜100の巻き付けは、駆動シャフト200自体に向かう静電引力を同時に使用すれば容易になる。

【0059】

そのために、ポリシリコン薄膜100を約100~200Vのピーク電位にすることができ、一方で駆動シャフトを接地する(またはその逆にする)。もちろん、薄膜100とシャフト200との間に絶縁層を設けなければならない。このため、シャフト200は、たとえば表面を酸化させた導電性材料から構成できる。

【0060】

本発明は、第3図に関して記載した筒状のモータの実施形態に少しも制限されるものではない。本発明は、たとえばリニアモータ等の多数の構成で使用可能である。

【0061】

さらに、SDAに付与される配向に応じて、同一薄膜の行と列に、複数の自由度を備えたモータを構成することができる。

【0062】

かくして、たとえば直交配向を有する2個のSDA群を用いることにより、X-Y型の平面トランスレータを製造できる。また、回転自由度を並進自由度に結合するラッチタイプのモータを構成することも可能である。

【0063】

ロータ200と、結合される外枠との間の界面に、SDA110を含む薄膜1

00を挿入するには、様々な方法がある。好適には、第一段階で薄膜100を約100Vの電位にし、一方でロータ200を接地する。従って、薄膜100は、駆動シャフト200に結合されるので、後で駆動シャフトを枠に挿入する応力に耐えるのに必要な剛性が与えられる。

【0064】

次に、駆動シャフトをその溝に挿入する。

【0065】

次いで、その後の段階では、薄膜100を前記溝に対してブロックすることにより、枠に対するロータ200の相対運動を可能にする。このブロックをうまく行うには、SDA薄膜100のフレームを引き付けるためにモータの枠を接地する。

【0066】

従って、薄膜100は、薄膜100／枠の界面で静電力の場によって、また、薄膜100と枠との接触によってもたらされる乾燥摩擦によって、回転がブロックされる。薄膜100は、薄膜100のフレームが枠によって自然に引き付けられる一方で、SDA110がロータ200によって引き付けられたままになるように寸法決定しなければならない（特に厚み）。

【0067】

そのため、SDAを形成する各プレート10は、薄膜100に設けられたフレーム14で弾性的に支持される。たとえば第4図に示したように、SDAを形成する各プレート10は、薄膜100に設けられたフレーム14により、2個の平行なサスペンションバー16を介して支持される。サスペンションバーは、小壁12に対向するプレート10の長手方向の各縁とフレーム14とを結合する。サスペンションバーは、小壁12の方向に垂直に延びる。

【0068】

第5図では、ロータ200を囲むモータのフレーム210が示されている。ここでもまた、導電性の枠210とフレーム14との間に絶縁層を設けなければならない。この絶縁層は、枠210の内面を酸化することにより得られる。

【0069】

薄膜100は、このように枠210に固定されると、ステータの役割を果たす。

【0070】

さらに前記サスペンションバー16は、好適には、フレーム14に対してSDAを径方向に大きく移動することができるので、ロータ200/枠210の界面で避けられない機械的な遊びにかかわる不確実性を補償することができる。

【0071】

事実、マクロ装置の規格化された機械製造公差は、直径1mmの回転トルクに対して約10ミクロンの不確実性により、機械的な遊びを最適に補償する。これは、SDA薄膜100の厚みの2倍よりもずっと大きい不確実性である。

【0072】

かくしてサスペンションバー16は、枠210で薄膜100を径方向に調節可能であるので、フレーム14は、枠210でブロックされ、SDAはロータ200で支持される。

【0073】

本発明の潜在的な用途は数多い。これらの用途は特に、マイクロメータ単位の尺度からミリメートル単位の尺度までマイクロ装置の駆動に関するものである。

SDA薄膜100は、当然のことながら、一定の動作遊びを有する表面機械結合部に挿入することができる。かくしてSDA薄膜100が、有効外形寸法の観点から占める容量はゼロである。従って、本発明は、容量/出力率が、既存の全てのシステムをずっと上回るモータを実現することができる。

【0074】

さらに、SDA薄膜が占める有効容量がゼロである限りにおいて、機構の機械構造を損なうことなく、機構の機械結合にSDA薄膜を容易に組み込むことができる。

【0075】

同様に、本発明によるSDA薄膜100は、付加的な場所をとることなく従来の連結部の機械構造に組み込み可能であるので、モータのインフラストラクチャ

になることができる。機械的な結合は機械エネルギーを発生するが、こうした機械結合は、一般には、依然として剛性本体の界面での乾燥摩擦のためにエネルギーを放散してしまう。

【 0 0 7 6 】

第6図から第8図に示した変形実施形態では、モータが環状型である。すなわちモータは、回転軸Oに対して横方向のディスク形であり、多数のSDA110を備えた平面薄膜100を含む。

【 0 0 7 7 】

かくして、このようなモータは、先に述べた三次元型モータと対置する二次元型である。

【 0 0 7 8 】

ロータを構成する薄膜100は、中央ハブ102から径方向に配向された多数のSDA110を含む。

【 0 0 7 9 】

このため、限定的ではないが一般に、ロータ100は、回転軸Oを中心として等間隔に配分された36個のSDAを含むことができる。円環扇形の各プレートの小壁12は、特に第6図および第7図から分かるように、回転軸から立ち上がる半径に応じてプレートの長手方向の縁に沿って、また好適には、これらの円環扇形の径方向延長部の一部分だけに延びる。

【 0 0 8 0 】

回転軸Oを中心とするロータの回転は、第1図に関して先に述べた原理に従って、プレート10と電極154との間でジェネレータ130が付与するパルスによって、プレート10の連続変形によって得られる。電極154は、ステータをなす支持体150に組み込まれており、この支持体にロータが配置される。

【 0 0 8 1 】

さらに、第6図から第8図に示したモータは、回転トルクセンサ180を含む。このセンサは、薄膜100の中央に配置される。センサ180は、回転軸Oに心合わせされた少なくとも一つの湾曲ビーム182を含み、その一端181が薄膜100に結合され、一方でビーム182の他端183は、前記薄膜100に対

して自在である。

【 0 0 8 2 】

第6図に示された実施形態によれば、センサ180は、ロータの回転軸0を中心として等間隔に配分された3個のビーム182を含む。

【 0 0 8 3 】

ビーム182は、薄膜100に結合される端181から回転方向に延びている。

【 0 0 8 4 】

ビームは、好適には、薄膜100のブロックで化学加工により形成され、円環扇形のほぼ円形である。

【 0 0 8 5 】

ビーム182に全く応力が及ぼされない場合、ビームは、薄膜100の面に含まれ、従って、いかなる外部制動トルクもロータに加えられない。

【 0 0 8 6 】

だが、ビーム182の自由端183が、ステータを形成するロータの支持体150に押しつけられている場合、ビーム182は、第8図に示したように撓みを引き起こす応力を受ける。この撓みの振幅は、SDAが発生する駆動トルクに直接依存する。かくして、ビーム182の変形の振幅を測定することにより、SDAの駆動トルクを直接測定することができる。

【 0 0 8 7 】

従って、各ビーム182と、ビーム182の移動行程の向かい合いに支持体150に形成される電極152との間でジェネレータ136により加えられる適切な電圧の印加によって静電力が生じ、この静電力により、ビーム182を支持体150に押しつけることができる。

【 0 0 8 8 】

第6図では、小壁12の移動行程と向かい合わせに、支持体150に形成された環状電極154を示した。この電極154は、駆動電極の役割をし、ジェネレータ130を用いて、電極154とSDAのプレート10との間に励起電圧を印加することができる。

## 【 0 0 8 9 】

第6図に示した構造は、たとえば直径が約500マイクロメートルで、全高が数マイクロメートルのモータを形成することができる。

## 【 0 0 9 0 】

次に、本発明によるSDA薄膜の製造方法の一例を説明する。

## 【 0 0 9 1 】

20Ωcmのn型シリコンチップを、フッ化水素酸の緩衝液で洗浄して準備する。水で濯いでN<sub>2</sub>下で乾燥した後、1100℃のO<sub>2</sub>下でチップを熱によって酸化する。このようにして厚さ約0.35マイクロメートルの酸化シリコン層をチップの表面に形成する。次に厚さ約0.5マイクロメートルのポリシリコン層を、LPCVD（低圧化学気相成長法）により600℃にする。ポリシリコンの抵抗率を下げるために、約50keVの加速度電圧のもとで、5×10<sup>15</sup>cm<sup>-2</sup>の定量により、燐を埋め込む。第一のリトグラフィーの後で、プラズマSF<sub>6</sub>によりポリシリコン層をエッチングしてスクリーンを得る。次いで、シリコンを多く含む厚さ約0.3マイクロメートルの窒化シリコン層を、LPCVDにより800℃でチップ全面に蒸着する。この層は、犠牲陽極の最終エッチングステップ中にフッ化水素酸によるエッチングから酸化シリコン層を保護する。その後で、LPCVDにより600℃の犠牲陽極材料として厚さ約2マイクロメートルの酸化シリコン層を蒸着する。

## 【 0 0 9 2 】

第二のリトグラフィー後、プラズマCHF<sub>3</sub>+O<sub>2</sub>を用いて反応性イオンエッチング（RIE）により小壁の鋳型を成形する。もちろん、予め形成した小壁の鋳型の深さにより、形成される小壁の高さが決定される。エッチング時間の制御により、深さが約1.5マイクロメートルの小壁が得られる。かくして約0.5マイクロメートルの層が、窒化シリコン層と小壁との間で保護される。

## 【 0 0 9 3 】

次に、接点を構成するための第三のリトグラフィーを実施する。LPCVDによる酸化シリコンと窒化シリコンとは、その後で蒸着されるポリシリコン層が埋め込みスクリーン層と局部的に接触可能であるように、プラズマCHF<sub>3</sub>+O<sub>2</sub>

下でR I Eにより除去される。

【 0 0 9 4 】

後で主成分として成形するための厚さ約1.0マイクロメートルのポリシリコン層は、L P C V Dにより600℃でチップ表面に蒸着される。S D Aの厚みは、ポリシリコンの厚みにより決定される。構造的なポリシリコン層は、燐の植え込みによりドーピングされてから（約150keVの加速度電圧下で $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ）、第四のリトグラフィーステップ中にプラズマS F 6 + S i C l 4下でR I Eにより成形される。

【 0 0 9 5 】

ポリシリコンに残留する応力を解放するために、チップは、L P C V Dによる酸化シリコンの薄層を蒸着後、60分間、1100℃でN<sub>2</sub>の中性雰囲気内で加熱する。この酸化シリコン層は、窒素からポリシリコンの面を保護する役割をする。同時に、ポリシリコン内で燐の拡散および活性化を行う。

【 0 0 9 6 】

チップは、犠牲陽極の酸化シリコン全体を溶かすために50%のH F 浴に含浸する。

【 0 0 9 7 】

次に、適切な溶液（たとえば水+イソプロピルアルコール）ですすぎ、中性雰囲気下（たとえば窒素）で乾燥する。前記S D Aをベースとするマイクロアクチュエータは、多数の領域で使用可能である。

【 0 0 9 8 】

添付した第9～13図を参照しながら、限定的ではないが、このマイクロアクチュエータをカテーテルの実施に使用する例について説明する。

【 0 0 9 9 】

かくして、添付の第9～13図に示した、非常に直径の小さい作動カテーテル300（一般に約1mm）は、柔軟な外装管310内に、管310の長さに沿って並置される一連のモジュール320を含む。

管310は、たとえばポリマー材料から形成可能である。

【 0 1 0 0 】



各モジュール320は、筒状の静電モータ340、弾性のロータ350、および形状記憶アクチュエータ360を含む。

【0101】

静電モータ340は、第5図に関して先に記載した構成にほぼ適合することができる。かくしてモータ340は、好適には、ロータ350（第5図のエLEMENT 200に対応する）と筒状枠210との間の機械的な遊びに配置されるSDA薄膜100を含む。

【0102】

筒状枠210は、下流に配置されるモジュール320の供給に必要な絶縁電源線214を通過できるようにするために、長手方向の溝212をその外周に備える。

【0103】

ロータ350は、多数の実施形態の対象とすることができる。第9～13図に示した限定的ではない実施形態によれば、ロータ350は、長手方向の結合アーム354により相互に接続される2個の筒状端区間352、356を含む。2個の筒状端区間352、356の直径は同じである。結合アーム354は、好適には、前記区間352、356をその端で画定する管の加工により形成される。従って、結合アーム354は好適には、曲率半径が区間352、354に対応する円筒扇形で、休止位置では直線の、長手方向のバーから構成される。ロータの区間352の長さは枠210の長さとはほぼ同じであり、前記区間352は、この枠210に挿入されるので、結合アーム354と第二の区間356は、枠210の外側に出る。

【0104】

ロータ350は、SDA薄膜100に静電力を付与できるようにするために、少なくとも区間352の位置では導電性材料から構成しなければならない。しかし、区間352の外面は、たとえば酸化により絶縁することが必要である。前述のように、ロータ350は、形状記憶アクチュエータの制御作用下で撓みを受け入れるように十分に柔軟でなければならない。

【0105】

場合によっては第11図に示すように、結合アーム354に、二つの区間352、356の間で長手方向に配分されて長手方向の二つの縁に通じる一連の横方向の切り込み355か、もしくは、適切な柔軟性を得るためのあらゆる同等の手段を備えることができる。

【0106】

形状記憶アクチュエータ360もまた、多数の実施形態の対象とすることができる。添付図に示した好適な実施形態によれば、アクチュエータ360は、ロータ350に心合わせしたステータ362からなり、その端364、366は、それぞれロータの区間356、352に係合されている。

【0107】

ステータ362は、たとえばNiTiから構成できる。

【0108】

ステータ362に一端は、ロータの一方の区間に固定され、ステータ362の他端は、ステータ362およびロータ350が撓むように、好適には、ロータに対して長手方向に移動自在にしながらロータの他方の区間に取り付けられている。たとえば、第9～13図に示されているように、ステータ362の一端364は、横方向のピン363により筒状区間356に固定可能である。ステータ362の他端366は、区間352に配置された球状トグル継手367の中央管路に係合される。

【0109】

変形実施形態では、形状記憶材料からなるステータ362は、あらゆる同等の構造、たとえば線またはコイルばねに代えることができる。

【0110】

所定のモジュール320のロータ端の区間356は、好適には、添付図に示したあらゆる適切な手段380により、並進および回転において、下流のモジュールの枠210に結合される。

【0111】

このマイクロカテーテルの動作は主に以下の通りである。

【0112】

第12図に示したように、形状記憶アクチュエータ360は、弾性のロータ350の幾何学的なパラメータにより予め決定される変形面に従って、結合される駆動シャフト350の撓みを制御することができる。

【0113】

筒状モータ340は、形状記憶アクチュエータ360の撓み面を制御するように構成される。

【0114】

このシステムは、第13図では、血管400内にあるところを示した。装置全体は、SDAアクチュエータ340および形状記憶アクチュエータ360をそれぞれ組み合わせた複数のモジュール320を相次いで結合することにより得られ、接続がきわめて単純であるにもかかわらず、多数の二次元もしくは三次元構成を制御可能である。

【0115】

かくして、SDAアクチュエータ340と形状記憶アクチュエータ360を組み合わせた本発明によるモジュール320は、前記マイクロカテーテル以外の多数の用途に使用可能である。

もちろん、本発明は、記載された実施形態に制限されるものではなく、その意図に適合するあらゆる変形実施形態に及ぶ。

【0116】

[1] 「Controlled stepwise motion in polysilicon microstructures」 T. Akiyama、K. Shono、J. MEMS、第2巻第3号106-110頁、1993年

[2] 「Scratch drive actuator with mechanical links for self-assembly of three dimensional MEMS」 T. Akiyama、D. Collard、H. Fujita、J. MEMS、第26巻第1号10-17頁、1997年

[3] 「Self-assembled microactuated XYZ stages for Optical Scanning and Ali

g nment」 L. Fan、M. C. Wu、K. D. Choquette、H. Crawford、Transducers' 97、固体センサとアクチュエータに関する国際会議、319-322頁、1997年シカゴ

【図面の簡単な説明】

【図1】

従来のSDAの一般構造および機能を概略的に示す図である。

【図2】

本発明によるSDA薄膜を支持基板に対して剥離する自動剥離プロセスを概略的に示す図である。

【図3】

本発明によるSDA薄膜を、筒状の駆動シャフトを中心として巻くプロセスを概略的に示す図である。

【図4】

本発明によるSDA基本セルの機械構造を示す図である。

【図5】

本発明によるSDA薄膜をロータと枠との間の界面位置に配置した図である。

【図6】

本発明による環状モータの概略図である。

【図7】

本発明による環状モータの部分横断面図である。

【図8】

本発明による環状モータに組み込まれたトルクセンサの斜視図である。

【図9】

前記のタイプの複数のSDAアクチュエータを実施する、本発明によるカテーテルの斜視図である。

【図10】

この同じカテーテルの断面図である。

【図11】

このようなカテーテルの基本モジュールを示す図である。

【図12】

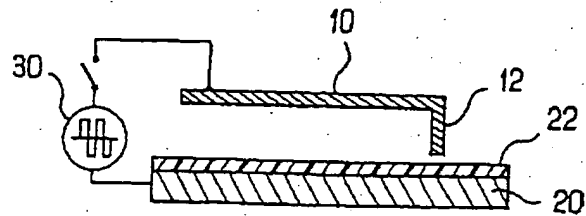
形状記憶材料を主成分とするアクチュエータの作用下でこのようなモジュールの変形を示す図である。

【図13】

本発明によるこのようなカテーテルの血管内での使用を示す図である。

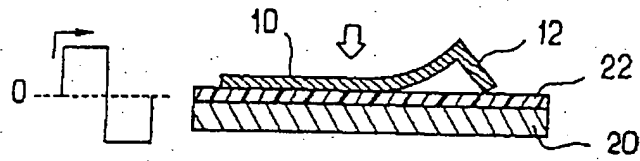
【図1A】

FIG.1A



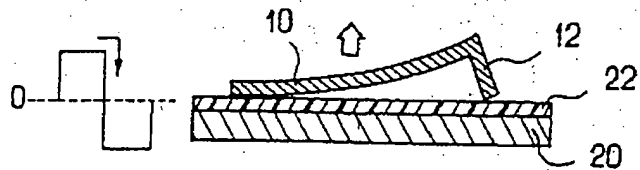
【図1B】

FIG.1B



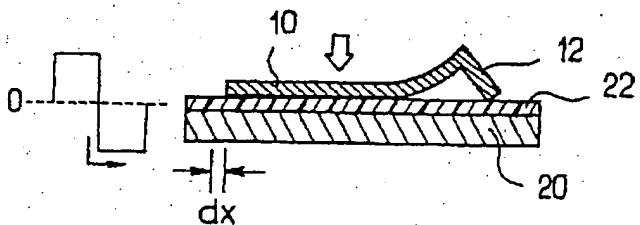
【図1C】

FIG.1C

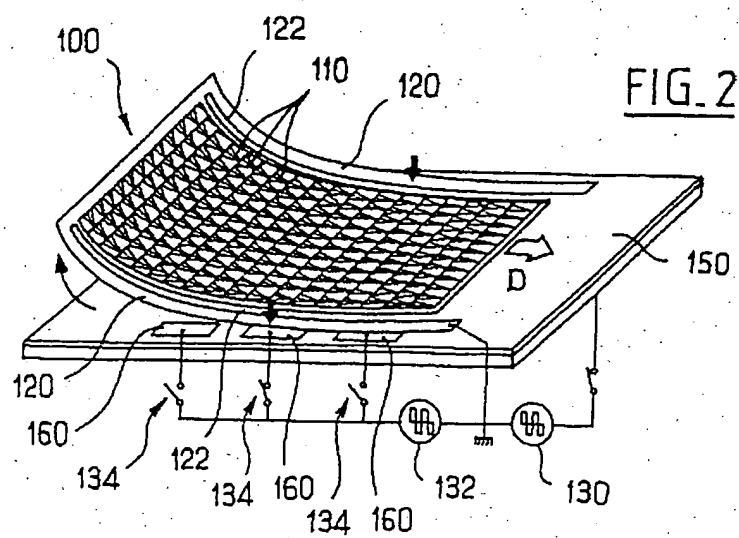


【図1D】

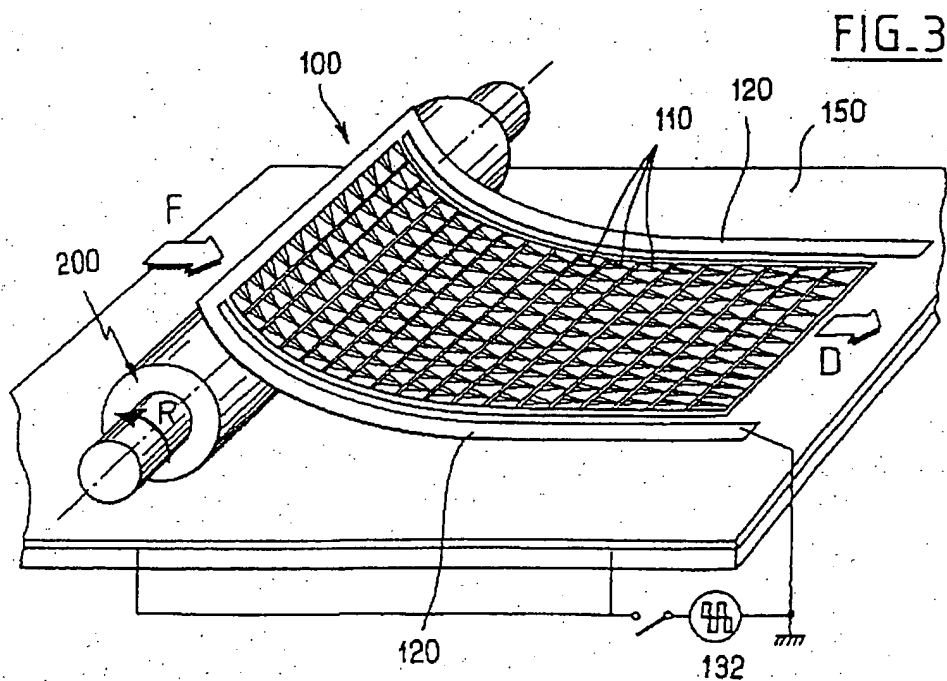
FIG.1D



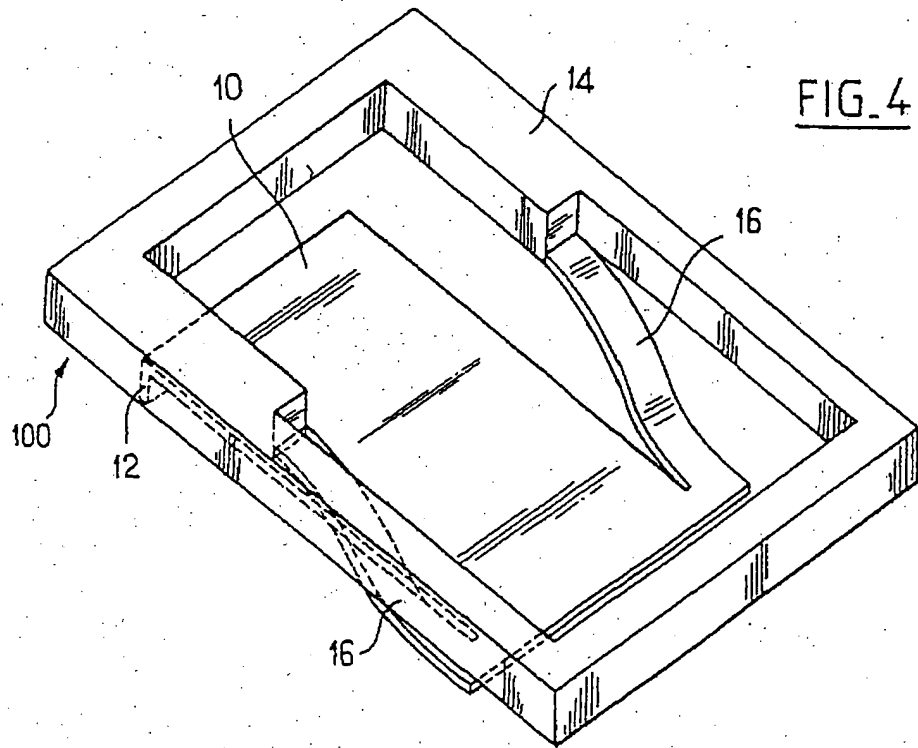
【 図 2 】



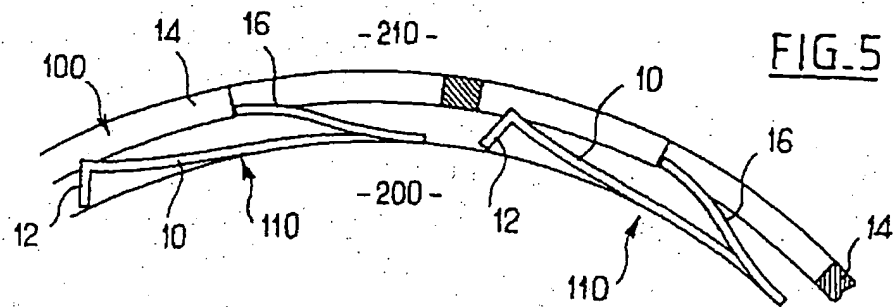
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

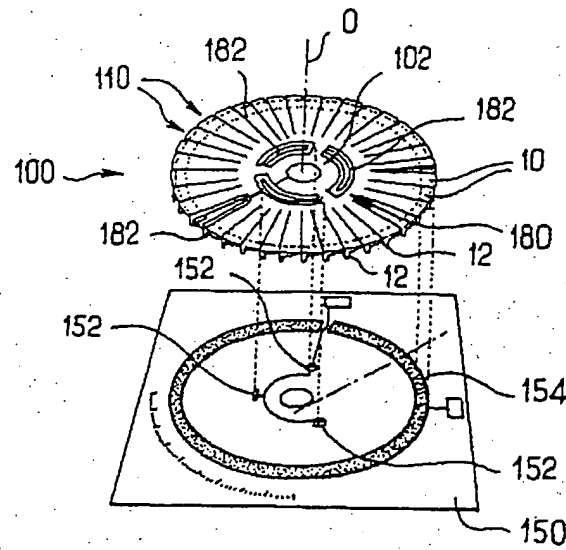


FIG. 6

【 図 7 】

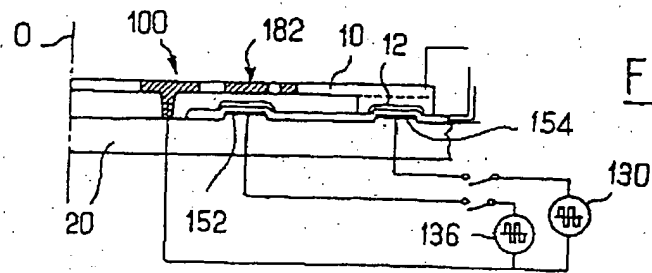


FIG. 7

【 図 8 】

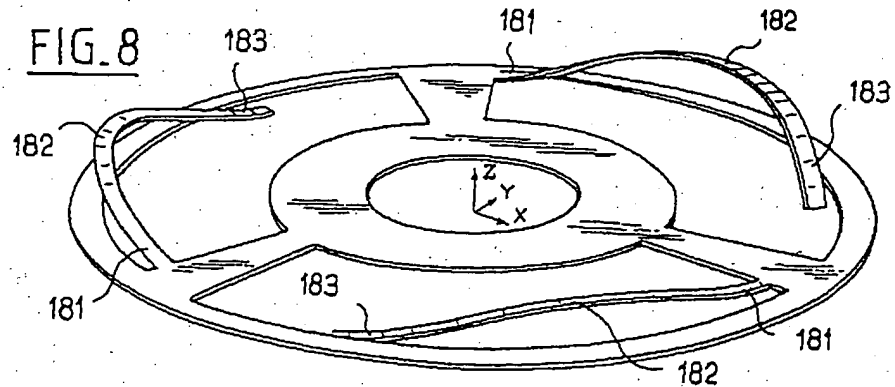
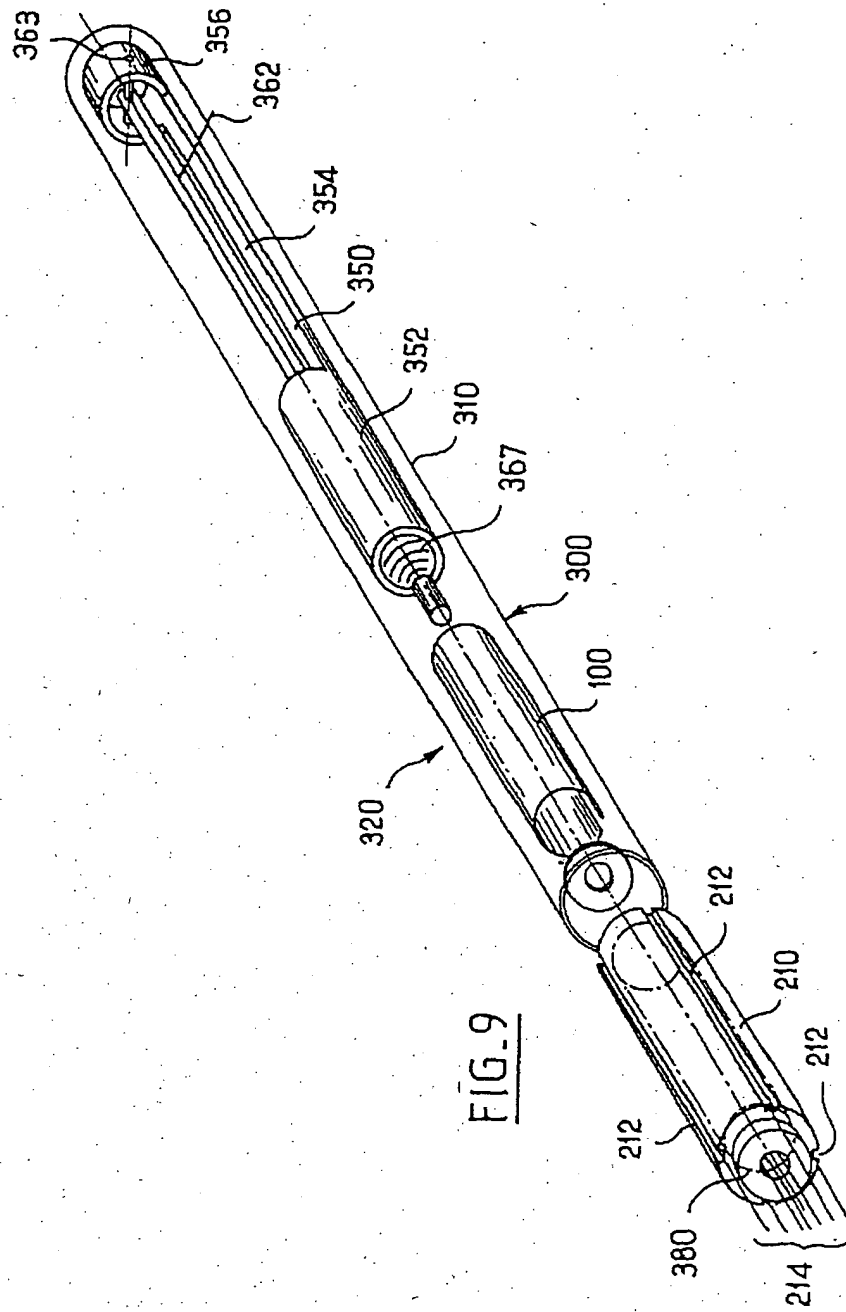


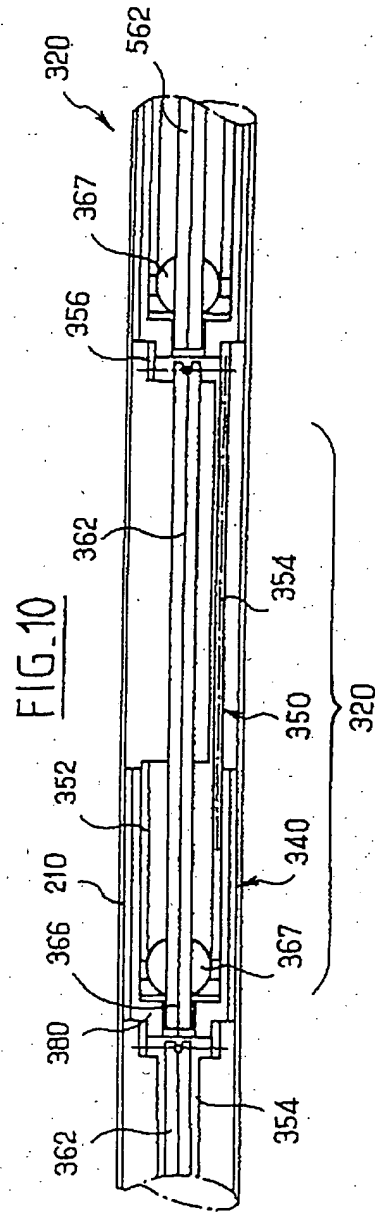
FIG. 8



【 図 9 】

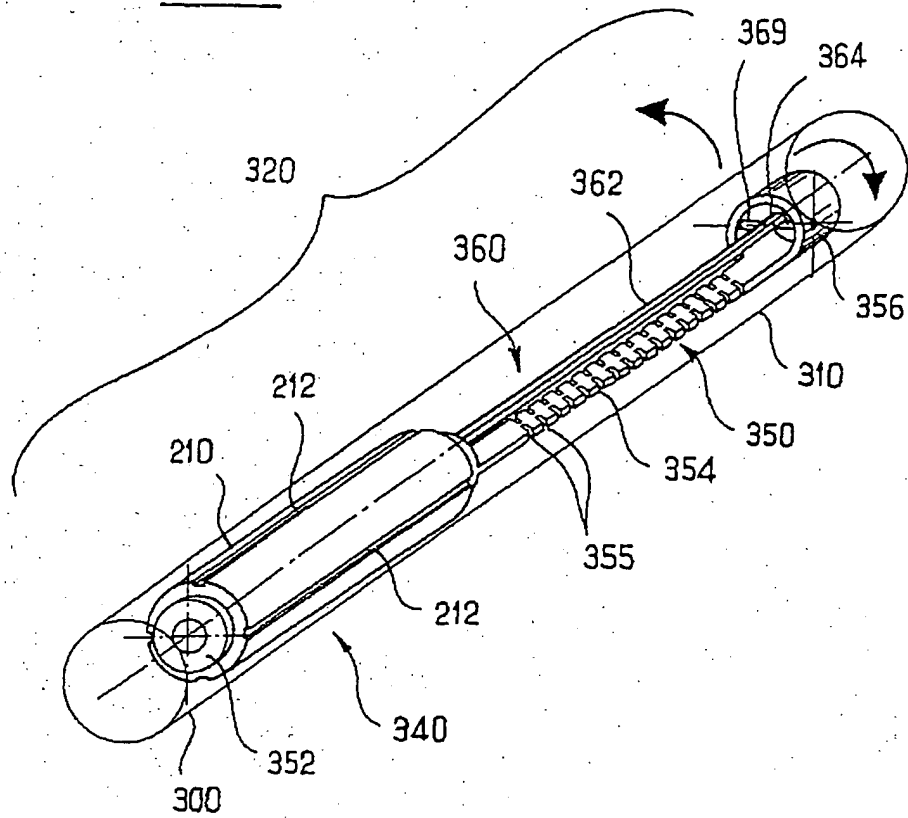


【 図 1 0 】



【図11】

FIG. 11



【 図 1 2 】

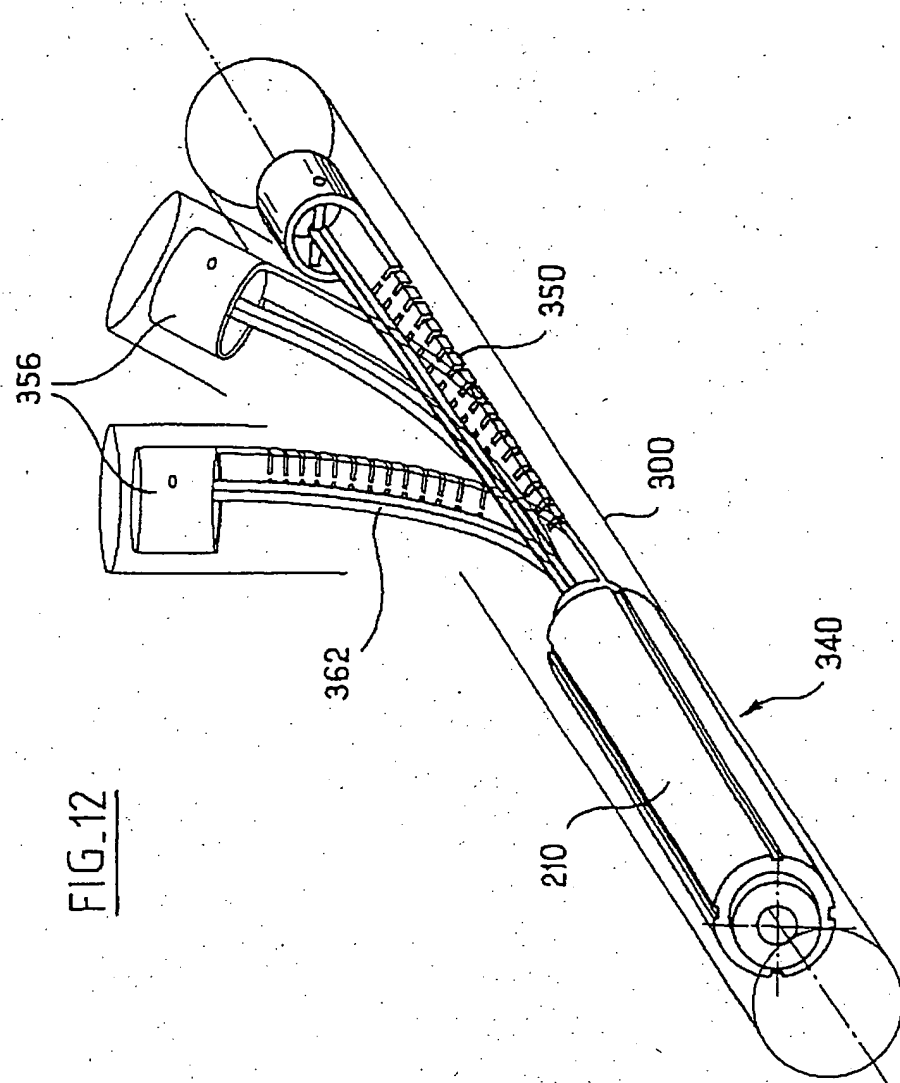
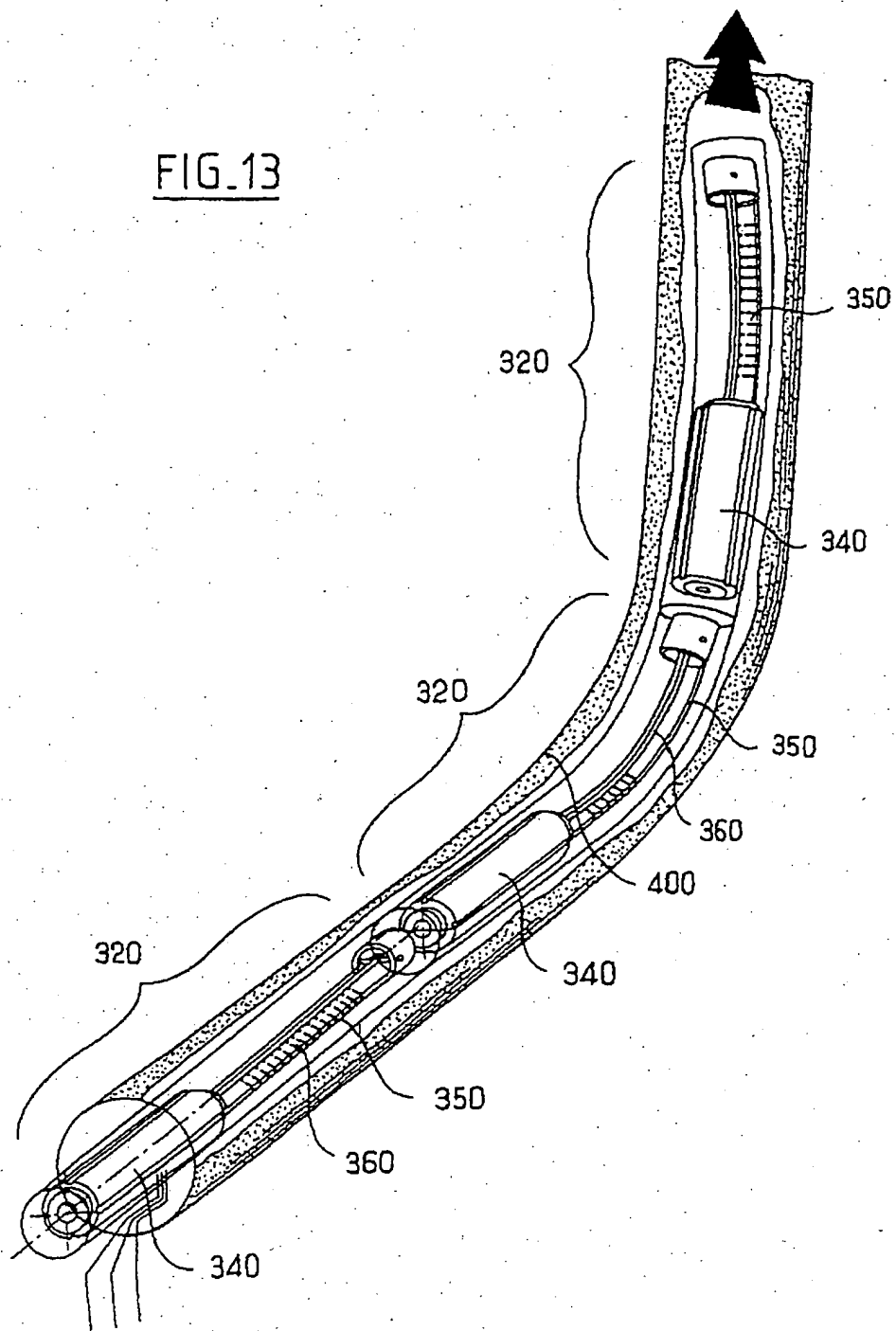


FIG.12

【 図 1 3 】

FIG.13



【手続補正書】特許協力条約第34条補正の翻訳文提出書

【提出日】平成12年1月24日(2000.1.24)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【発明の名称】 静電気マイクロアクチュエータ、このアクチュエータを使用する3次元作動マイクロカテーテルおよび製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】

絶縁層(22)で被覆した基板(20)側に向けられる突出小壁または肥厚部(12)を一端に備える可撓性のプレートまたはビーム(10)と、プレート(10)および基板(20)の間に電圧パルスを印加するように構成されたジェネレータ(30)とをそれぞれが含む、分配された複数の基本アクチュエータをベースとする静電マイクロアクチュエータであって、組み合わせた多数のSDA(110)と、複数の基本アクチュエータが発生する駆動力を重ねる手段の使用により均質な外部圧力をアクチュエータ(110)全体に個々に与えるとともに、この基本アクチュエータの全体反応による駆動力の合力を共通の外部負荷に伝達するための手段(130)とを含み、基本アクチュエータ(110)は、互いに連結された2個の剛性本体(200、210)の界面にある機械的な遊びに配置されるモノリシック支持薄膜(100)に形成されるので、薄膜(100)のフレームが、一方の剛性本体(210)に接触し、基本アクチュエータ(110)が、連結部に含まれる他方の本体(200)に接触することを特徴とする静電マイクロアクチュエータ。

【請求項2】

基本アクチュエータ(110)に外部機械圧力を加えるように構成された手段は、休止時に基本アクチュエータ(110)のセットにバイアス電圧を印加可能な手段(130)からなることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマイクロ

アクチュエータ。

【請求項 3】

支持薄膜(100)は可撓性であり、一方の剛性本体(210)は枠から形成され、連結部に含まれる他方の剛性本体(200)は駆動エレメントから形成されることを特徴とする請求の範囲第1項または第2項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 4】

基本アクチュエータの支持薄膜(100)は、2個の剛性本体(200、210)の間の機械的な遊びに挿入される前にその基板から分離されることを特徴とする請求の範囲第1項から第3項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 5】

基本アクチュエータを形成する各プレート(10)は、支持薄膜(100)に設けられたフレーム(14)で弾性的に支持されることを特徴とする請求の範囲第1項から第4項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 6】

基本アクチュエータを形成する各プレート(10)は、2個の平行なサスペンションバー(16)を介して、薄膜(100)に設けられたフレーム(14)により支持されることを特徴とする請求の範囲第5項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 7】

プレートまたはビーム(10)は、たとえばポリシリコンから形成されることを特徴とする請求の範囲第1項から第6項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 8】

数十から数千の基本アクチュエータ(110)を含むことを特徴とする請求の範囲第1項から第7項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 9】

基本アクチュエータ(110)は、薄膜を成形するように構成された撓みバー

(120)を有する薄膜(100)に、これらの撓みバー(120)が基板(150)でブロックする一方で少なくとも幾つかの基本アクチュエータ(110)を作動するときに形成されることを特徴とする請求の範囲第1項から第8項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項10】

カセンサをなす手段(180)、たとえばトルクセンサをさらに含み、この手段は、基本アクチュエータをなす薄膜に組み込まれてシステムの作動時に変形するように構成された少なくとも一つのビーム(182)を含み、前記ビームは、その変形の分析手段に結合されることを特徴とする請求の範囲第1項から第9項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項11】

基本アクチュエータ(110)は、ドーピングしたポリシリコン薄膜の化学加工により製造されることを特徴とする請求の範囲第1項から第10項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項12】

基板(150)は、撓みバー(120)に向かい合った電極(160)と、電極(160)に撓みバー(120)を押しつけるために電極(160)および撓みバー(120)の間に励起電圧を印加可能な手段とを含むことを特徴とする請求の範囲第9項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項13】

基板(150)で保持される撓みバー(120)の領域を制御するために選択的に供給可能な、撓みバー(120)に向かい合って配分される複数の離散電極(160)を含むことを特徴とする請求の範囲第12項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項14】

基本アクチュエータ薄膜(100)は、筒状のシャフト(200)に配置されることを特徴とする請求の範囲第1項から第13項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項15】



X-Yタイプの平面トランスレータを形成するために、直交配向を有する二つの基本アクチュエータ群(110)を含むことを特徴とする請求の範囲第1項から第14項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項16】

回転自由度を並進自由度に結合するラッチタイプのモータを構成することを特徴とする請求の範囲第1項から第15項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項17】

環状タイプのモータを構成することを特徴とする請求の範囲第1項から第16項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項18】

多数の基本アクチュエータ(110)を備え、回転軸Oを備える横方向ディスク形の平面薄膜(100)を含むことを特徴とする請求の範囲第17項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項19】

ロータを構成する薄膜(100)が、中央ハブ(102)から径方向に配置された多数の基本アクチュエータ(110)を含み、基本アクチュエータの円環扇形の各プレート(10)の小壁(12)が、回転軸Oから立ち上がる半径に応じてプレートの長手方向の縁に沿って、また好適には、これらの円環扇形の径方向延長部の一部分だけに延びることを特徴とする請求の範囲第18項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項20】

各ビーム(182)が、薄膜(100)に結合される一端(181)を有し、ビーム(182)の他端(183)は、前記薄膜(100)に対して自由であることを特徴とする請求の範囲第1項から第19項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項21】

センサ(180)は、ロータの回転軸Oを中心として等間隔に配分された3個のビーム(182)を含むことを特徴とする請求の範囲第1項から第20項のい

ずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項22】

ビーム(182)は、薄膜(100)に結合される端(181)から回転方向に延びることを特徴とする請求の範囲第1項から第20項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項23】

各ビーム(182)と、ビーム(182)の移動行程に向かい合って支持体(150)に形成される電極(152)との間でジェネレータ(136)が印加する適切な電圧の印加によって静電力を生じ、この静電力により、ビーム(182)が支持体(150)に押しつけられることを特徴とする請求の範囲第1項から第22項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項24】

形状記憶アクチュエータ(360)に結合されることを特徴とする請求の範囲第1項から第23項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項25】

基本アクチュエータ(110)をベースとする回転モータ(340)と、回転モータ(340)のロータ(350)に結合される形状記憶撓みスチー(362)とを含む、少なくとも一つのモジュール(320)を有することを特徴とする請求の範囲第24項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項26】

複数のモジュール(320)を相次いで含むことを特徴とする請求の範囲第25項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項27】

柔軟な管(310)内に配置されることを特徴とする請求の範囲第24項から第26項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項28】

回転モータ(340)の筒状枠(210)は、下流に配置されるモジュール(320)の供給に必要な絶縁電源線(214)を通過可能にするために、長手方向の溝(212)をその外周に備えることを特徴とする請求の範囲第25項から

第27項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項29】

ロータ(350)は、長手方向の結合アーム(354)により相互に結合される2個の筒状端区間(352、356)を含むことを特徴とする請求の範囲第25項から第28項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項30】

形状記憶材料からなるステー(362)の一端は、ロータの筒状端区間の一方に固定され、このステー(362)の他端は、ステー(362)およびロータ(350)を撓めるようにロータに対して長手方向に移動自在に、ロータの筒状端区間の他方に取り付けられることを特徴とする請求の範囲第29項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項31】

ステー(362)の一端(364)は、横方向のピン(363)によりロータの筒状端区間(356)に固定され、ステー(362)の他端(366)は、ロータの第二の筒状端区間(352)に配置される球状トグル継手(367)の中央管路に係合されることを特徴とする請求の範囲第30項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項32】

所定のモジュール(320)のロータの一端は、並進時も回転時も下流のモジュールの枠(210)に結合されることを特徴とする請求の範囲第26項から第31項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項33】

マイクロカテーテル(300)を構成することを特徴とする請求の範囲第1項から第32項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項34】 請求の範囲第1項から第33項のいずれか一項に記載の少なくとも一つのマイクロアクチュエータを含む三次元作動マイクロカテーテル。

【請求項35】

多数の基本アクチュエータ(110)を含むとともに撓みバー(120)を有する薄膜(100)を製造し、基板(150)に撓みバー(120)をブロック

する一方で少なくとも幾つかの基本アクチュエータ ( 1 1 0 ) を作動して基板から前記薄膜 ( 1 0 0 ) を剥離する薄膜成形ステップを含むことを特徴とする請求の範囲第 1 項から第 3 4 項のいずれか一項に記載のマイクロアクチュエータの製造方法。

【請求項 3 6】

ロータ ( 2 0 0 ) 等のモータ駆動エレメントを、薄膜 ( 1 0 0 ) の下で薄膜の剥離につれて移動することを特徴とする請求の範囲第 3 5 項に記載の製造方法。

【請求項 3 7】

前記モータ駆動エレメント ( 2 0 0 ) は、剥離した薄膜 ( 1 0 0 ) の下で移動中に回転運動するように駆動され、前記モータ駆動エレメント ( 2 0 0 ) は、モータ駆動エレメント ( 2 0 0 ) の面と薄膜 ( 1 0 0 ) との間で相対移動せずに、剥離につれて薄膜 ( 1 0 0 ) を支持するようにされることを特徴とする請求の範囲第 3 6 項に記載の製造方法。

【請求項 3 8】

静電引力は、薄膜 ( 1 0 0 ) と前記モータ駆動エレメント ( 2 0 0 ) との間で、このエレメントでの薄膜搬送時に発生することを特徴とする請求の範囲第 3 6 項または第 3 7 項に記載の製造方法。

【請求項 3 9】

静電引力は、薄膜 ( 1 0 0 ) と前記モータ駆動エレメント ( 2 0 0 ) との間で電圧を印加することにより発生することを特徴とする請求の範囲第 3 8 項に記載の製造方法。

【請求項 4 0】

静電引力は、薄膜の支持体をなすロータ等の駆動エレメント ( 2 0 0 ) を枠 ( 2 1 0 ) へ挿入する時に、基本アクチュエータの薄膜 ( 1 0 0 ) とこのエレメントとの間で保持され、エレメント ( 2 0 0 ) を枠に設置した後は、枠 ( 2 1 0 ) と各基本アクチュエータ ( 1 1 0 ) を囲む薄膜 ( 1 0 0 ) のフレームとの間に静電引力を与えて、枠 ( 2 1 0 ) に対して薄膜本体を固定するとともに、基本アクチュエータの作動小壁 ( 1 2 ) を前記駆動エレメントで保持して基本アクチュエータ ( 1 1 0 ) の励起時に駆動エレメントを駆動することを特徴とする請求の範

図第35項から第39項のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は、電気機械式マイクロアクチュエータの分野、すなわち励起に対応して制御された機械応力を提供するように構成されるマイクロシステムの分野に関する。

【0002】

米国特許A-5235225号が記載する構造では、それぞれが複数の電極および1個の可撓性ロータを備えた2個の平行なステータから基本アクチュエータを構成し、ロータは、前記2個のステータの間に配置されて少なくとも一部が導体である。ロータの移動は、電極に印加される電圧の、空間で進行するシーケンシャル制御により行われる。

【0003】

より詳しくは、本発明は、「Scratch Drive Actuators」または「SDA」と名付けられた静電気マイクロアクチュエータの分野に関する。

【0004】

これらのアクチュエータは、資料[1]、[2]、[3]に記載されている。

前記アクチュエータは特に、数年前から、精密測定寸法マイクロ装置の直接駆動用に構成されており、摩擦による機械エネルギー伝達機構を従来の静電力の場の利用に組み合わせるという特性を有する。

【0005】

これらのアクチュエータの一般構造および動作を適切に理解するために前記資料を参照されたい。

【0006】

こうしたアクチュエータは、添付図の第1A図から第1D図に示されている。

SDAは概して、たとえばポリシリコンプレートまたはビーム10を含み、たとえばSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の絶縁層22で被覆したシリコン基板20の方に向けられる、突出小壁または肥厚部12を一端に備える。ジェネレータ30は、プレート10

および基板20の間に電圧パルスを印加するように構成される。第1B図から分かるように、パルスの立ち上がりで、プレート10は、双方の間に発生する静電力により基板20の方に引き付けられる。小壁12は絶縁層22で支持されるので、プレート10が静的に撓められ、それによって小壁12が反るように導かれる。第1C図に示すようにパルスの立ち下がりでは、プレート10に蓄積された弾性エネルギーによってプレート10が再び休止構成を取ろうとし、小壁12および絶縁層22の間に画定される支持に比例して、元の位置に対して振幅 $d \times$ だけずれる。

#### 【0007】

かくして、これらのシステムは、薄いプレート10で、もともと静的な撓みを有するきわめて弱い振幅の機械振動を、この同じプレートの剛性本体の運動に変換することができる。

#### 【0008】

プレート10／基板20の界面で発生する静電力は、ジェネレータ30から送られる所定の励起電圧に対して、撓みプレート10の下に配置される障壁の高さが低ければ低いほど強くなる。一般に約1マイクロメートルである小壁12の高さは、さらに、プレート10／基板20の界面におけるエネルギー変換機構に著しい減速をもたらす。摩擦によるエネルギー変換で問題になるごくわずかな機械変形に固有の減速は、プレートの移動中に発生する駆動力を二重に増速しようとする。かくしてSDAは、任意の補助減速がないときに低速で大きな力を展開するという特性を有する。

#### 【0009】

移動ピッチの長さは、小壁12の高さ、プレート10の剛性、および印加される制御電圧に依存する。移動ピッチは一般に、幅約5.0マイクロメートル、厚み約1マイクロメートル、長さ約60マイクロメートルのプレート10に対して約25ナノメートルである。

#### 【0010】

このようなサイクルの反復により移動ピッチを蓄積し、その結果としてプレート10と基板20との間で相対移動を大きくすることができる。

## 【 0 0 1 1 】

しかしながら、S D Aは、発明者の知る限りにおいて非常に有望であることが明らかになっているにもかかわらず、これまで実験室のレベルに留まっており、工業開発が行われなかった。

## 【 0 0 1 2 】

これは、特に既知のS D Aが発生する応力が、たとえマイクロメータの尺度では大きくても、依然として有限であることによると思われる。約100Vのピーク励起電圧を供給されるS D Aの場合、一般に約50～100マイクロニュートンの応力は、マイクロ装置のレベル専用の限られた数の用途しか満たすことができない。

## 【 0 0 1 3 】

また、S D Aの寸法を大型化することにより、この応力を著しく増すという試みは、これまで成功しなかった。

## 【 0 0 1 4 】

実際、作動において関与する静電力は、S D Aの寸法を大きくするにつれて急激に減少する。一方で、S D Aの製造において問題となる加工方法では、数ミクロンを越える厚みを有する装置は加工不能であるので、これは、S D Aの寸法をほかにも増加する際に固有の制限となる。

## 【 0 0 1 5 】

本発明の目的は、S D Aを工業生産可能な新しい手段を提案することにある。

## 【 0 0 1 6 】

容認できる出力を得るために、S D Aの寸法を増加しようとする現在の試みとは逆に、本発明の範囲では小型S D Aを保持するが、このS D Aを増加して、これらの各S D Aが発生する力を加算できるように適切な条件で組み合わせることを提案する。すなわち、様々なS D Aが発生する力を重ねることが可能な外部機械プレストレスを前記S D Aに加えるように、また、これらの同じS D Aの全体反応による駆動力全体を外部負荷に伝えるように構成した手段を用いる。

## 【 0 0 1 7 】

S D Aのこうした機械プレストレスは、有利には、休止時にS D Aのセットに

加えられるバイアス電圧を用いて得られる。

【 0 0 1 8 】

S D Aの全体反応による駆動力全体を外部負荷に伝えられるようにするために、本発明の有効な特徴によれば、S D Aを支持する薄膜を、相互に連結された2個の剛性本体の界面にある機械的な遊びに配置する。

【 0 0 1 9 】

実際、このようなプレストレスは、外部負荷への駆動力伝達手段に結合され、様々なS D Aが発生する応力を累積可能にするために必要不可欠である。

【 0 0 2 0 】

マイクロアクチュエータの協働は、マイクロ装置の駆動化の分野で既に利用されているが、発明者の知る限りでは、移動した物体の重力を利用するために、水平面における摩擦による物体コンベヤの開発を介して行われたにすぎない。このような装置の場合、可動エレメントに伝えられる駆動力は、移動した物体の質量、ならびに物体／アクチュエータの界面における摩擦係数（固体摩擦に関するクーロンの法則による）だけに依存する。この場合、移動した物体に伝えられる駆動力は、駆動に関与するアクチュエータの数および駆動特性に無関係である。さらに、この同じ駆動力が、空間における装置（またはコンベヤ）の構成と、また特に物体の搬送面の水平状態とに依存する。従って、同一の負荷の駆動に関与するアクチュエータの数を増やすことが、必ずしも、駆動において問題化される有効な力を同程度に増やすことにはならないことは明らかである。

【 0 0 2 1 】

本発明は、機械的な動力伝達プロセスにおいてプレストレスを補正するために重量（もしくは支持スプリングの弾性変形等の他のあらゆる解決方法）を使用しないことから、先行する発明とは区別される。本発明は、集合体に含まれる各アクチュエータで個別化されるプレストレスを補正するために、S D Aの尺度を考慮して、特に強い静電引力を使用する。このプレストレスは、一貫して重力に関与する従来技術の装置とは反対に、移動した負荷の様々なパラメータとは無関係である限りにおいて、各アクチュエータに固有のものである。本発明の範囲におけるプレストレスの付加はさらに、静電引力が補助的な支持スプリングの弾性変



形を不要とするので、自然である。実際に、こうした付加は、前述のように休止時にSDAのセットに印加されるバイアス電圧を用いて得られる。しかも、静電力は、基板上のSDAの相対的な位置だけに依存し、三次元空間における基板の状態には無関係である。

【 0 0 2 2 】

その結果、提案される発明は、従来技術の集合装置とは異なり、考慮された空間構成がどのようなものであっても、各SDAの個々の力を有効に重ねることができる。

【 0 0 2 3 】

また、これまで提案されてきた複数のSDAを組み合わせ可能な支持格子は、大きな外力の伝達時に機械的な完全性を保持できないことが分かっている。これらの既知の支持格子は、一般に、SDAとして厚みが約1マイクロメートルのきわめて脆弱なビームの組み合わせから形成される（ビームは、同一プロセス中に同様の材料を用いてSDAと同時に製造される）。従って周知の支持格子の脆弱性は、大きな応力の伝達に固有の制限となる。

【 0 0 2 4 】

かくして、本発明のもう一つの有効な特徴によれば、現在の試みとは異なって、相互に連結される2個の剛性本体を分離する機械的な遊びに、多数のSDAを含むポリシリコンの可撓性薄膜を挿入することを提案する。この技術的な解決方法は、実際、非常に多数のSDAを、駆動力の有効な積み重ねに好都合な条件で、また集合体が発生する有効な力の累積の結果として生じる機械的な動力の伝達がSDAのセットを結合する設備構造に影響を及ぼすことがないように、協調させることができる。このため、本発明の範囲では、有利にはSDA薄膜が、連結部に含まれる剛性本体の一方、たとえば枠とだけ接触するフレームから構成される。SDAに関しては、連結部に含まれる他方の剛性本体、たとえば駆動シャフトともつばら接触するだけである。このような構成により、インターフェースに含まれるSDAの数に比例する力を累積することができる。また特に、可動エレメント（たとえば駆動シャフト）に伝えられる外部の機械的な動力伝達がどのようなものであろうとも、（枠との接触によって補強されているので）フレームの

完全性が保証される。

【 0 0 2 5 】

かくして、本発明は、従来技術の周知の解決方法とは反対に、同一の負荷の駆動において非常に多数のSDAを含む物理的、物質的（あるいは機械的）な可能性を全般に追求している。

【 0 0 2 6 】

かくして、本発明によるシステムは一般に、数十～数千のSDAを組み込んでいる。

【 0 0 2 7 】

さらに、本発明は、多数のSDAを含み、薄膜と一体成形したバーの撓みにより、たとえばポリシリコンの薄膜を成形する特定手段を提案する。

【 0 0 2 8 】

本発明はまた、このような成形手段を利用した、多数のSDAを含む薄膜の成形方法に関する。

【 0 0 2 9 】

本発明のもう一つの有利な特徴によれば、システムはまた、力センサをなす手段、たとえばトルクセンサを含むことができ、この手段は、SDAをなす薄膜に組み込まれてシステムの作動時に変形するように構成された少なくとも一つのビームを含み、前記ビームは、その変形の分析手段に結合される。

【 0 0 3 0 】

本発明の他の特徴、目的および長所は、限定的ではなく例として挙げられた添付図面に関する以下の詳細な説明を読めば、明らかになるであろう。

【 0 0 3 1 】

以下、SDAの既知の一般構造については、詳しい説明を省く。

【 0 0 3 2 】

その製造技術についても同様である。この技術は、ICの製造技術から派生したものであり、実際、当業者は既知である。

【 0 0 3 3 】

しかしながら、本発明によるSDA薄膜の製造方法の一例について、以下に説

明する。

【 0 0 3 4 】

S D A の公称寸法は一般に、一辺が約数十マイクロメータである。かくして本発明の範囲では、mm<sup>2</sup> 単位の面積に並置した数百、さらには数千の S D A を設けることができる。

【 0 0 3 5 】

好適には、本発明の範囲では、S D A は、ドーピングしたポリシリコン薄膜の化学加工により製造される。その構成は、多数の変形実施形態の対象となっている。薄膜の網状組織への S D A の結合条件、薄膜における基本セルの離散条件（単位面積当たりの S D A の数）、薄膜の面の条件についても同様である。

【 0 0 3 6 】

本発明の範囲において先に述べたように、各 S D A が発生する基本応力の加算を可能にするには、これらの応力は、好適には休止時のバイアス電圧の形態をとる外部機械プレストレスに従い、それによって、各 S D A のプレート 1 0 に制御された連続的な撓みが課される。

【 0 0 3 7 】

また、本発明の範囲において先に述べたように、S D A の協働反応による駆動力全体を外部の負荷に伝えるように構成された手段をさらに設けている。

【 0 0 3 8 】

このため、S D A 薄膜は、好適には、相互に連結される 2 個の剛性本体の間の機械的な遊びに配置される。

【 0 0 3 9 】

かくして S D A 薄膜は、前記 S D A 薄膜を構成した基板と、はめ込まれる剛性本体との間に配置可能である。

【 0 0 4 0 】

しかしながら、本発明の範囲では、S D A 薄膜は、好適には、まずその支持基板から分離され、次いで、相互に連結される 2 個の剛性本体の間に存在する前記機械的な遊びに挿入される。

【 0 0 4 1 】

本発明によるSDA集団を含むポリシリコン薄膜は、化学加工されたシリコン基板から剥離されると、可撓性が大きくなる。

【 0 0 4 2 】

従って、これらの薄膜をその使用場所に搬送するために様々な解決方法を設けることができる。

【 0 0 4 3 】

第2図に示した、本発明の特に有利な実施形態によれば、SDAを含む薄膜の支持基板からの剥離は、薄膜の周辺に配分された撓みバーによって行われる。

【 0 0 4 4 】

もちろん、薄膜の他の場所、たとえば薄膜の周辺だけではなくブロック内に、このような撓みバーを設けてもよい。

【 0 0 4 5 】

かくして第2図では、多数の基本SDA110を含むポリシリコン薄膜100が示されている。薄膜100は、前記薄膜100を加工したシリコン基板150で保持されている。

【 0 0 4 6 】

薄膜100は、薄膜100の対向する二つの縁に沿ってそれぞれ配置された平行な2個の撓みバー120を含む。撓みバー120は、前記撓みバー120と薄膜100の中央本体との間に形成される長手方向の切り込み122により、薄膜100のブロックから縦に分離される。撓みバー120は、このように薄膜100のブロックから加工される。しかしながら、撓みバー120は、その一端により、薄膜100のこの中央本体に結合されたままである。

【 0 0 4 7 】

前記側面縁および撓みバー120に対して横方向で、かつ、薄膜100に前記撓みバー120を結合するゾーンに対向する第一列のSDAが作動されると、第2図の矢印Dにより示された方向に薄膜100が進む。そのために、関与するSDA110のプレート10と、基板150に埋め込まれた電極との間に電圧を印加することができる。

【 0 0 4 8 】

従って、撓みバー120が反対に、少なくともその長さの一部で基板150に対して所定の位置に保持されると、薄膜100の移動により、基板150の面に直交する方向にバー120が撓む。

## 【0049】

第2図から分かるように、こうしたバー120の撓みにより薄膜100が基板150から剥離する。

## 【0050】

基板150に対してバー120を保持するには、様々な方法がある。本発明の範囲では、好適には、保持そのものが静電力によって得られる。そのため、好適には、第2図に示したように、基板150でバー120の向かい合いに特定の電極160を設ける。これらの電極160とバー120との間にジェネレータ132を用いて励起電圧を印加することにより、バー120を電極160に押しつけることができる。

## 【0051】

さらに詳しくは、添付した第2図に示した好適な実施形態によれば、バー120の向かい合いに複数の離散電極160を設ける。これらの電極160のそれぞれは、各遮断器134のセットを介してジェネレータ132により選択的に供給可能である。従って、選択されたひとつまたは複数の遮断器134を選択的に閉鎖することにより、一つまたは複数の供給電極160を選択し、その結果、基板150に保持されるバー120の領域を制御することができる。

## 【0052】

曲率半径が数十ミクロンのこうした技術は、ポリシリコン薄膜100で得られる。

## 【0053】

かくしてSDA110を含む薄膜100もまた、所望のあらゆる使用場所に振り向けることができる。

## 【0054】

第3図に、駆動シャフト200での薄膜100の使用を示した。

## 【0055】

駆動シャフト200は、それ自体が多数の実施形態の対象となりうる。第3図に示した限定的ではない特定の実施形態によれば、駆動シャフトは、外装が回転円筒形である筒状シャフトである。

【0056】

シャフト200で薄膜100を搬送するには、基板150上の薄膜100の剥離端の位置にシャフト200を配置する。次いで、第3図に矢印Fで示したように、薄膜100の剥離につれて、この薄膜の下でシャフト200を移動する。それと同時に、好適には、(第3図に矢印Rで示したように) シャフトをその軸を中心として回転運動するように駆動し、その結果、シャフト200は、薄膜100が剥離するにつれて、シャフト200の面と薄膜100との間で相対移動せずに薄膜100を支持する。かくして薄膜は、シャフト200で損傷するおそれなく、徐々に搬送される。

【0057】

シャフト200への薄膜100の巻き付けは、駆動シャフト200自体に向かう静電引力を同時に使用すれば容易になる。

【0058】

そのために、ポリシリコン薄膜100を約100~200Vのピーク電位にすることができ、一方で駆動シャフトを接地する(またはその逆にする)。もちろん、薄膜100とシャフト200との間に絶縁層を設けなければならない。このため、シャフト200は、たとえば表面を酸化させた導電性材料から構成できる。

【0059】

本発明は、第3図に関して記載した筒状のモータの実施形態に少しも制限されるものではない。本発明は、たとえばリニアモータ等の多数の構成で使用可能である。

【0060】

さらに、SDAに付与される配向に応じて、同一薄膜の行と列に、複数の自由度を備えたモータを構成することができる。

【0061】

かくして、たとえば直交配向を有する2個のSDA群を用いることにより、X-Y型の平面トランスレータを製造できる。また、回転自由度を並進自由度に結合するラッチタイプのモータを構成することも可能である。

#### 【0062】

ロータ200と、結合される外枠との間の界面に、SDA110を含む薄膜100を挿入するには、様々な方法がある。好適には、第一段階で薄膜100を約100Vの電位にし、一方でロータ200を接地する。従って、薄膜100は、駆動シャフト200に結合されるので、後で駆動シャフトを枠に挿入する応力に耐えるのに必要な剛性が与えられる。

#### 【0063】

次に、駆動シャフトをその溝に挿入する。

#### 【0064】

次いで、その後の段階では、薄膜100を前記溝に対してブロックすることにより、枠に対するロータ200の相対運動を可能にする。このブロックをうまく行うには、SDA薄膜100のフレームを引き付けるためにモータの枠を接地する。

#### 【0065】

従って、薄膜100は、薄膜100/枠の界面で静電力の場によって、また、薄膜100と枠との接触によってもたらされる乾燥摩擦によって、回転がブロックされる。薄膜100は、薄膜100のフレームが枠によって自然に引き付けられる一方で、SDA110がロータ200によって引き付けられたままになるように寸法決定しなければならない（特に厚み）。

#### 【0066】

そのため、SDAを形成する各プレート10は、薄膜100に設けられたフレーム14で弾性的に支持される。たとえば第4図に示したように、SDAを形成する各プレート10は、薄膜100に設けられたフレーム14により、2個の平行なサスペンションバー16を介して支持される。サスペンションバーは、小壁12に対向するプレート10の長手方向の各縁とフレーム14とを結合する。サスペンションバーは、小壁12の方向に垂直に延びる。

## 【 0 0 6 7 】

第5図では、ロータ200を囲むモータのフレーム210が示されている。ここでもまた、導電性の枠210とフレーム14との間に絶縁層を設けなければならない。この絶縁層は、枠210の内面を酸化することにより得られる。

## 【 0 0 6 8 】

薄膜100は、このように枠210に固定されると、ステータの役割を果たす。

## 【 0 0 6 9 】

さらに前記サスペンションバー16は、好適には、フレーム14に対してSDAを径方向に大きく移動することができるので、ロータ200／枠210の界面で避けられない機械的な遊びにかかわる不確実性を補償することができる。

## 【 0 0 7 0 】

事実、マクロ装置の規格化された機械製造公差は、直径1mmの連結に対して約10ミクロンの不確実性により、機械的な遊びを最適に補償する。これは、SDA薄膜100の厚みの2倍よりもずっと大きい不確実性である。

## 【 0 0 7 1 】

かくしてサスペンションバー16は、枠210で薄膜100を径方向に調節可能であるので、フレーム14は、枠210でブロックされ、SDAはロータ200で支持される。

## 【 0 0 7 2 】

本発明の潜在的な用途は数多い。これらの用途は特に、マイクロメータ単位の尺度からミリメートル単位の尺度までマイクロ装置の駆動に関するものである。

## 【 0 0 7 3 】

SDA薄膜100は、当然のことながら、一定の動作遊びを有する表面機械結合部に挿入することができる。かくしてSDA薄膜100が、有効外形寸法の観点から占める容量はゼロである。従って、本発明は、容量／出力率が、既存の全てのシステムをずっと上回るモータを実現することができる。

## 【 0 0 7 4 】

さらに、SDA薄膜が占める有効容量がゼロである限りにおいて、機構の機械



構造を損なうことなく、機構の機械結合にSDA薄膜を容易に組み込むことができる。

【0075】

同様に、本発明によるSDA薄膜100は、付加的な場所をとることなく従来の連結部の機械構造に組み込み可能であるので、モータのインフラストラクチャになることができる。機械的な結合は機械エネルギーを発生するが、こうした機械結合は、一般には、依然として剛性本体の界面での乾燥摩擦のためにエネルギーを放散してしまう。

【0076】

第6図から第8図に示した変形実施形態では、モータが環状型である。すなわちモータは、回転軸Oに対して横方向のディスク形であり、多数のSDA110を備えた平面薄膜100を含む。

【0077】

かくして、このようなモータは、先に述べた三次元型モータと対置する二次元型である。

【0078】

ロータを構成する薄膜100は、中央ハブ102から径方向に配向された多数のSDA110を含む。

【0079】

このため、限定的ではないが一般に、ロータ100は、回転軸Oを中心として等間隔に配分された36個のSDAを含むことができる。円環扇形の各プレートの小壁12は、特に第6図および第7図から分かるように、回転軸から立ち上がる半径に応じてプレートの長手方向の縁に沿って、また好適には、これらの円環扇形の径方向延長部の一部分だけに延びる。

【0080】

回転軸Oを中心とするロータの回転は、第1図に関して先に述べた原理に従って、プレート10と電極154との間でジェネレータ130が付与するパルスによって、プレート10の連続変形によって得られる。電極154は、ステータをなす支持体150に組み込まれており、この支持体にロータが配置される。

## 【 0 0 8 1 】

さらに、第6図から第8図に示したモータは、回転トルクセンサ180を含む。このセンサは、薄膜100の中央に配置される。センサ180は、回転軸Oに心合わせされた少なくとも一つの湾曲ビーム182を含み、その一端181が薄膜100に結合され、一方でビーム182の他端183は、前記薄膜100に対して自在である。

## 【 0 0 8 2 】

第6図に示された実施形態によれば、センサ180は、ロータの回転軸Oを中心として等間隔に配分された3個のビーム182を含む。

## 【 0 0 8 3 】

ビーム182は、薄膜100に結合される端181から回転方向に延びている。

## 【 0 0 8 4 】

ビームは、好適には、薄膜100のブロックで化学加工により形成され、円環扇形のほぼ円形である。

## 【 0 0 8 5 】

ビーム182に全く応力が及ぼされない場合、ビームは、薄膜100の面に含まれ、従って、いかなる外部制動トルクもロータに加えられない。

## 【 0 0 8 6 】

だが、ビーム182の自由端183が、ステータを形成するロータの支持体150に押しつけられている場合、ビーム182は、第8図に示したように撓みを引き起こす応力を受ける。この撓みの振幅は、SDAが発生する駆動トルクに直接依存する。かくして、ビーム182の変形の振幅を測定することにより、SDAの駆動トルクを直接測定することができる。

## 【 0 0 8 7 】

従って、各ビーム182と、ビーム182の移動行程の向かい合いに支持体150に形成される電極152との間でジェネレータ136により加えられる適切な電圧の印加によって静電力が生じ、この静電力により、ビーム182を支持体150に押しつけることができる。

## 【 0 0 8 8 】

第6図では、小壁12の移動行程と向かい合わせに、支持体150に形成された環状電極154を示した。この電極154は、駆動電極の役割をし、ジェネレータ130を用いて、電極154とSDAのプレート10との間に励起電圧を印加することができる。

## 【 0 0 8 9 】

第6図に示した構造は、たとえば直径が約500マイクロメータで、全高が数マイクロメータのモータを形成することができる。

## 【 0 0 9 0 】

次に、本発明によるSDA薄膜の製造方法の一例を説明する。

## 【 0 0 9 1 】

20  $\Omega$  cmのn型シリコンチップを、フッ化水素酸の緩衝液で洗浄して準備する。水で濯いでN<sub>2</sub>下で乾燥した後、1100℃のO<sub>2</sub>下でチップを熱によって酸化する。このようにして厚さ約0.35マイクロメータの酸化シリコン層をチップの表面に形成する。次に厚さ約0.5マイクロメータのポリシリコン層を、LPCVD（低圧化学気相成長法）により600℃にする。ポリシリコンの抵抗率を下げるために、約50keVの加速度電圧のもとで、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の定量により、リンを埋め込む。第一のリトグラフィーの後で、プラズマSF<sub>6</sub>によりポリシリコン層をエッチングしてスクリーンを得る。次いで、シリコンを多く含む厚さ約0.3マイクロメータの窒化シリコン層を、LPCVDにより800℃でチップ全面に蒸着する。この層は、犠牲陽極の最終エッチングステップ中にフッ化水素酸によるエッチングから酸化シリコン層を保護する。その後で、LPCVDにより600℃の犠牲陽極材料として厚さ約2マイクロメータの酸化シリコン層を蒸着する。

## 【 0 0 9 2 】

第二のリトグラフィー後、プラズマCHF<sub>3</sub>+O<sub>2</sub>を用いて反応性イオンエッチング（RIE）により小壁の鋳型を成形する。もちろん、予め形成した小壁の鋳型の深さにより、形成される小壁の高さが決定される。エッチング時間の制御により、深さが約1.5マイクロメータの小壁が得られる。かくして約0.5マ

マイクロメータの層が、窒化シリコン層と小壁との間で保護される。

【 0 0 9 3 】

次に、接点を構成するための第三のリトグラフィーを実施する。LPCVDによる酸化シリコンと窒化シリコンとは、その後で蒸着されるポリシリコン層が埋め込みスクリーン層と局部的に接触可能であるように、プラズマCHF<sub>3</sub>+O<sub>2</sub>下でRIEにより除去される。

【 0 0 9 4 】

後で主成分として成形するための厚さ約1.0マイクロメータのポリシリコン層は、LPCVDにより600℃でチップ表面に蒸着される。SDAの厚みは、ポリシリコンの厚みにより決定される。構造的なポリシリコン層は、燐の植え込みによりドーピングされてから（約150keVの加速度電圧下で $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ）、第四のリトグラフィーステップ中にプラズマSF<sub>6</sub>+SiCl<sub>4</sub>下でRIEにより成形される。

【 0 0 9 5 】

ポリシリコンに残留する応力を解放するために、チップは、LPCVDによる酸化シリコンの薄層を蒸着後、60分間、1100℃でN<sub>2</sub>の中性雰囲気内で加熱する。この酸化シリコン層は、窒素からポリシリコンの面を保護する役割をする。同時に、ポリシリコン内で燐の拡散および活性化を行う。

【 0 0 9 6 】

チップは、犠牲陽極の酸化シリコン全体を溶かすために50%のHF浴に含浸する。

【 0 0 9 7 】

次に、適切な溶液（たとえば水+イソプロピルアルコール）ですすぎ、中性雰囲気下（たとえば窒素）で乾燥する。前記SDAをベースとするマイクロアクチュエータは、多数の領域で使用可能である。

【 0 0 9 8 】

添付した第9～13図を参照しながら、限定的ではないが、このマイクロアクチュエータをカテーテルの実施に使用する例について説明する。

【 0 0 9 9 】

かくして、添付の第9～13図に示した、非常に直径の小さい作動カテーテル300（一般に約1mm）は、柔軟な外装管310内に、管310の長さに沿って並置される一連のモジュール320を含む。

管310は、たとえばポリマー材料から形成可能である。

#### 【0100】

各モジュール320は、筒状の静電モータ340、弾性のロータ350、および形状記憶アクチュエータ360を含む。

#### 【0101】

静電モータ340は、第5図に関して先に記載した構成にほぼ適合することができる。かくしてモータ340は、好適には、ロータ350（第5図のエLEMENT 200に対応する）と筒状枠210との間の機械的な遊びに配置されるSDA薄膜100を含む。

#### 【0102】

筒状枠210は、下流に配置されるモジュール320の供給に必要な絶縁電源線214を通過できるようにするために、長手方向の溝212をその外周に備える。

#### 【0103】

ロータ350は、多数の実施形態の対象とすることができる。第9～13図に示した限定的ではない実施形態によれば、ロータ350は、長手方向の結合アーム354により相互に接続される2個の筒状端区間352、356を含む。2個の筒状端区間352、356の直径は同じである。結合アーム354は、好適には、前記区間352、356をその端で画定する管の加工により形成される。従って、結合アーム354は好適には、曲率半径が区間352、354に対応する円筒扇形で、休止位置では直線の、長手方向のバーから構成される。ロータの区間352の長さは枠210の長さとはほぼ同じであり、前記区間352は、この枠210に挿入されるので、結合アーム354と第二の区間356は、枠210の外側に出る。

#### 【0104】

ロータ350は、SDA薄膜100に静電力を付与できるようにするために、

少なくとも区間352の位置では導電性材料から構成しなければならない。しかし、区間352の外面は、たとえば酸化により絶縁することが必要である。前述のように、ロータ350は、形状記憶アクチュエータの制御作用下で撓みを受け入れるように十分に柔軟でなければならない。

#### 【0105】

場合によっては第11図に示すように、結合アーム354に、二つの区間352、356の間で長手方向に配分されて長手方向の二つの縁に通じる一連の横方向の切り込み355か、もしくは、適切な柔軟性を得るためのあらゆる同等の手段を備えることができる。

#### 【0106】

形状記憶アクチュエータ360もまた、多数の実施形態の対象とすることができる。添付図に示した好適な実施形態によれば、アクチュエータ360は、ロータ350に心合わせしたステア362からなり、その端364、366は、それぞれロータの区間356、352に係合されている。

#### 【0107】

ステア362は、たとえばNiTiから構成できる。

#### 【0108】

ステア362に一端は、ロータの一方の区間に固定され、ステア362の他端は、ステア362およびロータ350が撓むように、好適には、ロータに対して長手方向に移動自在にしながらロータの他方の区間に取り付けられている。たとえば、第9～13図に示されているように、ステア362の一端364は、横方向のピン363により筒状区間356に固定可能である。ステア362の他端366は、区間352に配置された球状トグル継手367の中央管路に係合される。

#### 【0109】

変形実施形態では、形状記憶材料からなるステア362は、あらゆる同等の構造、たとえば線またはコイルばねに代えることができる。

#### 【0110】

所定のモジュール320のロータ端の区間356は、好適には、添付図に示し

たあらゆる適切な手段380により、並進および回転において、下流のモジュールの枠210に結合される。

【0111】

このマイクロカテーテルの動作は主に以下の通りである。

【0112】

第12図に示したように、形状記憶アクチュエータ360は、弾性のロータ350の幾何学的なパラメータにより予め決定される変形面に従って、結合される駆動シャフト350の撓みを制御することができる。

【0113】

筒状モータ340は、形状記憶アクチュエータ360の撓み面を制御するように構成される。

【0114】

このシステムは、第13図では、血管400内にあるところを示した。装置全体は、SDAアクチュエータ340および形状記憶アクチュエータ360をそれぞれ組み合わせた複数のモジュール320を相次いで結合することにより得られ、接続がきわめて単純であるにもかかわらず、多数の二次元もしくは三次元構成を制御可能である。

【0115】

かくして、SDAアクチュエータ340と形状記憶アクチュエータ360を組み合わせた本発明によるモジュール320は、前記マイクロカテーテル以外の多数の用途に使用可能である。

もちろん、本発明は、記載された実施形態に制限されるものではなく、その意図に適合するあらゆる変形実施形態に及ぶ。

【0116】

[1] 「Controlled stepwise motion in polysilicon microstructures」 T. Akiyama, K. Shono, J. MEMS. 第2巻第3号106-110頁、1993年

[2] 「Scratch drive actuator with mechanical links for self-assembly of th

ree dimensional MEMS」T. Akiyama、D. Collard、H. Fujita、J. MEMS. 第26巻第1号10-17頁、1997年

[3] 「Self-assembled microactuated XYZ stages for Optical Scanning and Alignment」L. Fan、M. C. Wu、K. D. Choquette、H. Crawford、Transducers' 97、固体センサとアクチュエータに関する国際会議、319-322頁、1997年シカゴ

【図面の簡単な説明】

【図1】

従来のSDAの一般構造および機能を概略的に示す図である。

【図2】

本発明によるSDA薄膜を支持基板に対して剥離する自動剥離プロセスを概略的に示す図である。

【図3】

本発明によるSDA薄膜を、筒状の駆動シャフトを中心として巻くプロセスを概略的に示す図である。

【図4】

本発明によるSDA基本セルの機械構造を示す図である。

【図5】

本発明によるSDA薄膜をロータと枠との間の界面位置に配置した図である。

【図6】

本発明による環状モータの概略図である。

【図7】

本発明による環状モータの部分横断面図である。

【図8】

本発明による環状モータに組み込まれたトルクセンサの斜視図である。

【図9】

前記のタイプの複数のSDAアクチュエータを実施する、本発明によるカテー



テルの斜視図である。

【図10】

この同じカテーテルの断面図である。

【図11】

このようなカテーテルの基本モジュールを示す図である。

【図12】

形状記憶材料を主成分とするアクチュエータの作用下でこのようなモジュールの変形を示す図である。

【図13】

本発明によるこのようなカテーテルの血管内での使用を示す図である。

## 【國際調查報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No.  
PCT/FR 98/02613

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 6 H02N1/00 A61M25/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H02N A61M		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 235 225 A (COLGATE JAMES E ET AL) 10 August 1993	1-32
A	US 5 563 466 A (RENNEX BRIAN G ET AL) 8 October 1996	1-32
A	FUJITA H ET AL: "Group work of distributed microactuators" ROBOTICA, SEPT.-OCT. 1996, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, UK, vol. 14, pt.5, pages 487-492, XP002076440 ISSN 0263-5747	1-32
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" documents published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "A" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search  16 March 1999		Date of mailing of the international search report  23/03/1999
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5816 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl. Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Ramos, H

Form PCT/ISA/216 (second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Intern. Application No  
 PCT/FR 98/02613

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>FURUHATA T ET AL: "ARRAY-DRIVEN ULTRASONIC MICROACTUATORS ARRAYED MICROACTUATOR MODULES THAT HAVE SWING PINS" TRANSDUCERS, SAN FRANCISCO, JUNE 24 - 27, 1991, no. CONF. 6, 24 June 1991, pages 1056-1059, XP000560535 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS</p>	1-32
A	<p>TOSHIO FUKUDA: "GIANT MAGNETOSTRICTIVE ALLOY(GMA) APPLICATIONS TO MICRO MOBILE ROBOT AS A MICRO ACTUATOR WITHOUT POWER SUPPLY CABLES" 30 January 1991, PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS INVESTIGATION OF MICRO STRUCTURES, SENSORS, ACTUATORS, MACHINES AND ROBOTS, NARA, JP., JAN. 30 - FEB. 2, 1991, NR. WORKSHOP 4, PAGE(S) 210 - 215, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS XP000295570</p>	33-40
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 012 (C-1150), 11 January 1994 &amp; JP 05 253175 A (OLYMPUS OPTICAL CO LTD), 5 October 1993 see abstract</p>	33-40

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern. Application No.  
PCT/FR 98/02613

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5235225 A	10-08-1993	NONE	
US 5563466 A	08-10-1996	NONE	

---

フロントページの続き

- (72)発明者 フィリップ、ラングレ  
フランス国フェステュベール、リュ、デ、  
ミル、6
- (72)発明者 増 沢 隆 久  
東京都港区六本木7-22-1 東京大学生  
産技術研究所内
- (72)発明者 藤 田 博 之  
東京都港区六本木7-22-1 東京大学生  
産技術研究所内